



У Віснику розглянуто питання взаємодії суспільства і природи, раціонального використання та охорони природного середовища. Відображено результати досліджень у галузі геології, геохімії, гідрогеології, географії, екології та соціально-економічної географії.

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

В Вестнике рассмотрены вопросы взаимодействия общества и природы, рационального использования и охраны природной среды. Отражены результаты исследований в области геологии, геохимии, гидрогеологии, географии, экологии и социально-экономической географии. Для научных работников, специалистов и преподавателей ВУЗов.

Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology" is devoted to the modern studies in the field of geology, geochemistry, hydrogeology, ecology and social and economic geography.

"Visnyk" is intended for scientists, specialists and high school lecturers.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 17 від 30.11.2020 р.).

**Редакційна колегія:** д. геогр. н., проф. *К. А. Немець* (голова редколегії); *О. В. Чуєнко* (відповідальний секретар); д. геол.-мін. н., проф. *І. В. Височанський*; д. геогр. н., проф. *О. М. Крайнюков*; д. геол.-мін. н., проф. *А. І. Лур'є*; д. геогр. н., проф. *А. Н. Некос*; д. геогр. н., проф. *Л. М. Немець*; д. геогр. н., проф. *В. А. Пересадыко*; д. геол.-мін. н., проф. *В. Г. Суярко*; д. геогр. н., доц. *К. Ю. Сегіда*; д. техн. н., проф. *І. М. Фик*; д. техн. н., проф. *І. Г. Черваньов* (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна); д. техн. н., проф. *В. С. Білецький* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол.-мін. н., проф., член-кор. НАНУ *Е. Я. Жовинський* (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України); д. геол.-мін. н., проф. *В. М. Загнітко* (Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка); д. фіз.-мат. н., проф. *Г. Д. Коваленко* (директор Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України).

**Іноземні члени редколегії:** д. географії, проф. *О. С. Володченко* (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геогр. н., проф., зав. каф. географії, геоєкології та безпеки життєдіяльності *А. Г. Корнілов* (Белгородський державний національний дослідницький університет «БелГУ», РФ); д. геології, проф., декан факультету геології *Ахмет Сасмаз* (Фіратський університет, Туреччина); д. габілітований, проф., *Анджей Томаш Солецкі* (Інституту геологічних наук Вроцлавського університету, Польща); д. географії, проф., завідувач кафедри географії і туризму *С. А. Станайтіс* (Литовський університет освітніх наук, Литва); проф. кафедри геології факультету природничих наук *Адель Хегаб* (Асьютський Університет, Єгипет); декан факультету гірничої справи, екології, керування процесами та геотехнології, проф. *Мичал Челар* (Кошицький Технічний університет, Словаччина).

«Вісник» є фаховим виданням категорії А за спеціальностями 103 (науки про Землю) та 106 (географія) (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.) та входить до наступних міжнародних баз даних: *WorldCat*, *BASE* (Bielefeld Academic Search Engine), *ResearchBible*, *TIB/UB* (German National Library of Science and Technology, University Library Hannover), *SBB* (Staatsbibliothek zu Berlin), *Ulrich's Periodicals Directory*, *EBSCO*, *Index Copernicus*, *Web of Science* (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

**Адреса редакційної колегії:** Україна, 61022, Харків, майдан Свободи, 4, ХНУ імені В. Н. Каразіна, факультет геології, географії, рекреації і туризму, тел. (057) 707-53-56;  
e-mail: [geoeco-series@karazin.ua](mailto:geoeco-series@karazin.ua);  
сайт: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>, <http://journals.uran.ua/geoeco>

Тексти статей представлені у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст статей, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21574-11474Р від 20.08.2015.

**EDITORIAL BOARD**  
of "Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University,  
series "Geology. Geography. Ecology"

**Niemets, Kostiantyn** – Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism (SGGRT), V. N. Karazin Kharkiv National University (V. N. Karazin KhNU).

**Chuenko, Alexander** – Executive Secretary, Head of laboratory for the study of rocks, minerals and fossil organisms, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Vysochansky, Ilarion** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Geology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Kraynyukov, Oleksiy** – Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education, School of Ecology, V. N. Karazin KhNU.

**Lurye, Anatoliy** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Hydrogeology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Nekos, Alla** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education, School of Ecology, V. N. Karazin KhNU.

**Niemets, Liudmyla** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of Department of the Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Peresadko, Vilina** – Doctor Science (Geography), Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, Dean of SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Sehida, Kateryna** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Suyarko, Vasil'** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Fyk, Ilyya** – Doctor of Science (Technics), Professor, Head of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Chervanyov, Igor** – Doctor of Science (Technics), Professor, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Biletsky, Volodymyr** – Doctor of Science (Technics), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

**Zhovinsky, Edward** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv.

**Zagnitko, Vasil'** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv.

**Kovalenko, Grygory** – Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Director Institute of high-energy physics and nuclear physics NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology" National Academy of Science Ukraine, Kharkiv.

**INTERNATIONAL COUNCIL**

**Wolodtschenko, Alexander** – Doctor of Science (Geography), Professor, Institute of Cartography, Dresden University of Technology (Germany).

**Kornilov, Andriy** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography, Geo-ecology and Life safety, Belgorod State National Research University (Russia).

**Sasmaz, Ahmet** – Doctor of Science (Geology), Professor, Head of Geology Department, Firat University (Turkey).

**Solecki, Andrzej Tomasz**, Dr. habil., Professor, Institute of Geological Science University of Wrocław, Wrocław University (Poland).

**Stanaitis, Saulius** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and Tourism, Faculty of Science and Technology, Lithuanian University of Educational Science (Lithuania).

**Hegab, Adel Ali Abd Allah Awadien** – Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Assiut University (Egypt).

**Cehlár, Michal** – Professor, Dean of Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University of Košice (Slovakia).

## З М І С Т

### ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Володимира Михайловича Паценка .....	8
--	---

### ГЕОЛОГІЯ

*Барташук О. В.*

ТЕКТОНІЧНА ІНВЕРСІЯ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ. ЧАСТИНА 2. ГЕОДИНАМІЧНІ ОБСТАНОВКИ І КІНЕМАТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ ДЕФОРМАЦІЙ РИФТОГЕННОЇ СТРУКТУРИ .....	10
---	----

*Бончковський О. С.*

СМИКІВ – НОВИЙ ОПОРНИЙ РОЗРІЗ ВЕРХНЬОГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНУ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ .....	25
---	----

*Поверєнний С. Ф., Лур'є А. Й.*

ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ ВТОРИННОЇ ПОРИСТОСТІ У ВІДКЛАДАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН ПІВДЕННОГО СХОДУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ .....	45
--	----

*Супрун І. С., Андрєєва-Григорович А. С.*

АСОЦІАЦІЇ НАНОПЛАНКТОНУ ПАЛЕОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ .....	61
--	----

### ГЕОГРАФІЯ

*Agayar E. V., Semerhei-Chumachenko A. B., Zubkovych S. O.*

APPLYING PREDICTION MODELS FOR SHORT-TERM HAIL FORECASTING IN SOUTHERN UKRAINE .....	72
---	----

*Волошин В. Г., Степаненко С. М., Шакірзанова Ж. Р., Куришина В. Ю.*

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГО БАЛАНСОВОЇ МОДЕЛІ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВИПАРОВУВАННЯ З ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ .....	83
---	----

*Денисик Г. І., Воловик В. М., Яцентюк Ю. В., Кізюн А. Г.*

МОДЕЛІ САКРАЛЬНОГО ПРОСТОРУ .....	93
-----------------------------------	----

*Kravchenko K. O., Zheng Yu, Dobrovolskaya N. V., Scryl I. A.*

UKRAINE–CHINA STRATEGIC PARTNERSHIP: CURRENT SITUATION, PROBLEMS AND PROSPECTS .....	104
---	-----

*Куліш С. М., Прасул Ю. І.*

НАУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОФЕСОРА АНДРІЯ КРАСНОВА ТА ЇЇ РОЛЬ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ГЕОГРАФІЇ .....	119
--	-----

*Lazhnik V. Yo., Makovetska L. O., Sosnytska Ya. S.*

TRANSPORT SUFFICIENCY OF ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF VOLYN REGION .	130
---	-----

*Ovcharenko A. Yu.*

RECOGNITION OF INDICATIVE LANDSCAPE OBJECTS WITHIN PROTECTED AREAS .....	141
---	-----

*Reshetchenko S. I., Dmitriiev S. S., Cherkashyna N. I., Goncharova L. D.*

CLIMATE INDICATORS OF CHANGES IN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS (A CASE OF THE PSYOL RIVER BASIN) .....	155
--	-----

*Семенова І. Г., Польовий А. М.*

ПРОГНОСТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ПОСУХ ТЕПЛОГО СЕЗОНУ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В 2021-2050 рр. ....	169
--	-----

*Syuyi M. Ya., Hulyk S. W., Demyanchuk P. M.*

THE REGIONALIZATION OF PODILLYA TERRITORY (TERNOPIL, KHMYLNYTSKYI AND VINNYTSIA REGIONS) BY MINERAL RESOURCES .....	180
--	-----

*Suptelo O. S., Sehida K. Yu.*

FACTORS OF POST-INDUSTRIAL TRANSFORMATIONS OF URBAN SOCIOGEOSYSTEMS (CASE KHARKIV) .....	194
---	-----

*Sharifzadeh Aghdam E., Kheirollahi A., Niemets L. M.*

PERSPECTIVES OF THE TOURISM DEVELOPMENT IN TERMS OF WATER CRISIS (CASE STUDY OF IRAN) .....	206
--	-----

## **ЕКОЛОГІЯ**

*Адаменко О. М., Мосюк М. І., Зорін Д. О.*

СТАН ДОВКІЛЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІСТРОВСЬКОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ .....	227
---	-----

*Kovalchuk I. P., Martyniuk V. O., Šeirienė V.*

THE BASIN-LANDSCAPE APPROACH TO THE PROTECTION AND CONDITION OPTIMIZATION OF THE LAKES OF THE NATIONAL PARKS .....	239
---	-----

*Писаренко Л. А., Савенець М. В.*

ПОЖЕЖИ В ЕКОСИСТЕМАХ ТА ВПЛИВ НА АТМОСФЕРУ .....	255
--	-----

*Samoilenko V. M., Osadchyi V. I., Vishnikina L. P., Dibrova I. O.*

SHAPE OF CUMULATIVE LAND USE SYSTEMS' AREA DISTRIBUTION AS A PARAMETER OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON LANDSCAPES .....	267
---	-----

<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» .....</b>	<b>286</b>
---	------------

## CONTENT

### CHRONICLE

TO MARK THE ANNIVERSARY OF Volodymyr PASCHENKO .....	8
--	---

### GEOLOGY

*Bartashchuk Oleksii*

TECTONIC INVERSION OF THE DNIEPER–DONETSK BASIN. PART 2. GEODYNAMIC SITUATIONS AND KINEMATIC MECHANISM OF RIFTOGENIC STRUCTURE DEFOR-MATIONS .....	10
--	----

*Bonchkovskyi Oleksandr*

SMYKIV – THE NEW KEY SECTION OF THE UPPER PLEISTOCENE OF THE VOLYN UPLAND .....	25
--	----

*Poverenniy Sergey, Lurye Anatoliy*

ON THE QUESTION OF CREATION OF SECONDARY POROUSITY IN LARGE-DEPTH SEDIMENTS OF THE SOUTH-EAST OF THE DNEPROVSK-DONETSK DEPRESSION ...	45
--	----

*Suprun Iryna, Andreyeva-Grigorovich Aida*

CALCAREOUS NANNOFOSSIL ASSEMBLAGES FROM PALEOCENE SEDIMENTS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS .....	61
---	----

### GEOGRAPHY

*Agayar Ellina, Semerhei-Chumachenko Alina, Zubkovych Svitlana*

APPLYING PREDICTION MODELS FOR SHORT-TERM HAIL FORECASTING IN SOUTHERN UKRAINE .....	72
---	----

*Voloshyn Vladimir, Stepanenko Sergiy, Shakirzanova Zhannetta, Kuryshyna Viktoriya*

APPLICATION OF THE SURFACE LAYER ENERGY BALANCE MODEL FOR CALCULATING OF THE EVAPORATION FROM WATER OBJECTS .....	83
--	----

*Denysyk Grygoriy, Volovyk Volodymyr, Yatsentyuk Yuriy, Kiziun Alla*

MODELS OF SACRED SPACE .....	93
------------------------------	----

*Kravchenko Kateryna, Zheng Yu, Dobrovolskaya Nataliia, Scryl Iryna*

UKRAINE–CHINA STRATEGIC PARTNERSHIP: CURRENT SITUATION, PROBLEMS AND PROSPECTS .....	104
---	-----

*Kulish Serhiy, Prasul Yuliya*

SCIENTIFIC ACTIVITY OF PROFESSOR ANDRIY KRASNOV AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF MODERN GEOGRAPHY .....	119
--	-----

*Lazhnik Volodymyr, Makovetska Larysa, Sosnytska Yaroslava*

TRANSPORT SUFFICIENCY OF ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF VOLYN REGION .	130
---	-----

*Ovcharenko Alina*

RECOGNITION OF INDICATIVE LANDSCAPE OBJECTS WITHIN PROTECTED AREAS .....	141
---	-----

*Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav, Cherkashyna Nadiia, Goncharova Liudmyla*

CLIMATE INDICATORS OF CHANGES IN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS (A CASE OF THE PSYOL RIVER BASIN) .....	155
--	-----

*Semenova Inna, Polevoy Anatoly*

PROJECTED DISTRIBUTION OF THE WARM SEASON DROUGHTS OVER THE TERRITORY OF UKRAINE IN 2021-2050 .....	169
--	-----

*Syvyi Myroslav, Hulyk Serhij, Demyanchuk Petro*

THE REGIONALIZATION OF PODILLYA TERRITORY (TERNOPIL, KHYMLNYTSKYI AND VINNYTSIA REGIONS) BY MINERAL RESOURCES .....	180
--	-----

*Suptelo Olga, Sehida Kateryna*

FACTORS OF POST-INDUSTRIAL TRANSFORMATIONS OF URBAN SOCIOGEOSYSTEMS (CASE KHARKIV) .....	194
---	-----

*Sharifzadeh Aghdam Ebrahim, Kheirollahi Arastou, Niemets Liudmyla*

PERSPECTIVES OF THE TOURISM DEVELOPMENT IN TERMS OF WATER CRISIS (CASE STUDY OF IRAN) .....	206
--	-----

## **ECOLOGY**

*Adamenko Oleg, Mosyuk Mykola, Zorin Denis*

ENVIRONMENTAL SITUATION OF DNISTER REGIONAL LANDSCAPE PARC .....	227
---	-----

*Kovalchuk Ivan, Martyniuk Vitalii, Šeirienė Vaida*

THE BASIN-LANDSCAPE APPROACH TO THE PROTECTION AND CONDITION OPTIMIZATION OF THE LAKES OF THE NATIONAL PARKS .....	239
---	-----

*Pysarenko Larysa, Savenets Mykhailo*

FIRES IN ECOSYSTEMS AND INFLUENCE ON THE ATMOSPHERE .....	255
---	-----

*Samoilenko Viktor, Osadchyi Volodymyr, Vishnikina Liubov, Dibrova Ivan*

SHAPE OF CUMULATIVE LAND USE SYSTEMS' AREA DISTRIBUTION AS A PARAMETER OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON LANDSCAPES .....	267
---	-----

<b>REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” .....</b>	<b>286</b>
---	------------

# ХРОНІКА

## ДО ЮВІЛЕЮ Володимира Михайловича ПАЩЕНКА



15 вересня святкує дату від дня народження – 70 років – український географ. Ювіляр народився у вересні 1950 року в селі Мала Дівиця Прилуцького району Чернігівської області в родині фахівців-аграріїв. Закінчив Київський державний університет ім. Тараса Шевченка з відзнакою (1972 р.) за спеціальністю «геоморфологія» та отримав кваліфікацію географа-геоморфолога. Потім – аспірантура у секторі географії АН УРСР (1974-1977 рр.), захистив кандидатську дисертацію (1980 р.) – і довгий-довгий шлях присвятив географічній науці. На початку – як ландшафтознавця-степовика, тобто спеціаліста з вивчення ландшафтів українського степу; далі – більше. Це «більше» вдало відрефлексував видатний російський географ А.Г. Ісаченко, зазначивши в 1990-х рр., що Володимир Пашченко – один з небагатьох ландшафтознавців в Україні, котрий у «буремні» 90-ті, коли в науці коїлося бозна що, плідно працював у ландшафтознавстві й отримував непересічні результати (підсумовані у його відомій монографії «Теоретические вопросы ландшафтоведения», К.: Наукова думка, 1993). Ім'я Пашченка було одним з нечисленних, з якими можна було б пов'язати перехід в нашій країні від радянського ландшафтознавства до українського, або пострадянського.

Володимир Пашченко пройшов шлях від молодшого, старшого, провідного до головного на-

укового співробітника (1977-2007 рр.) у Секторі, згодом Відділенні географії АН УРСР, котре трансформувалося в Інститут географії НАН України. 37 років він присвятив академічній науці. Затятий «польовик» (без «поля» немає географії), В.М. Пашченко проводив самотужки і брав участь в численних експедиціях – від Камчатки до Адріатики.

В 1990-2000-ті роки В.М. Пашченко активно співпрацює із Лабораторією постнекласичних методологій Центру гуманітарної освіти НАН України, котра якимось несподівано стала осередком новітнього філософського-методологічного руху в українській природничій географії, який отримав назву постнекласичного. Ряд робіт, зокрема «Методологія постнекласичного ландшафтознавства» – і Пашченко стає одним з засновників новітнього наукового руху в географічній науці. Невдовзі його постнекласичні наукові розробки кристалізуються в гуманістичне ландшафтознавство і наукознавчі студії. Але дослідник продовжує працювати і в «стандартних» фізико-географічних напрямках: ландшафтознавче картографування, географічне краєзнавство, загальне землезнавство, землеустрій і кадастр, геоecologia – неповний перелік галузей, де науковець досягає важливих і помітних результатів.

Володимир Пашченко був співавтором середньомасштабних карт ландшафтів України і карти



фізико-географічного районування території України. Також був автором карт ландшафтів окремих регіонів України.

На цьому можна було і завершити «типовий» життєпис науковця. Проте В.М. Пащенко – вчений далеко нетиповий. То ж його «наукова біографія» буде абсолютно неповною, якщо коротко не сказати про таке.

*Науково-педагогічна робота.* В.М. Пащенко підготовлено одного доктора і десять кандидатів наук за спеціальностями «фізична географія, геофізика і геохімія ландшафтів» та «конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів». Цифра говорить сама за себе. Крім офіційного керівництва молодими науковцями, – безліч консультацій, порад, редагувань, рецензувань, підтримок, настанов: і молодим і не зовсім молодим колегам-географам, екологам. І все це – дружно, відверто, безкорисливо.

*Науково-організаційна робота.* Тривалий час В.М. Пащенко був членом експертної ради з географічних наук ВАК України, займав дві каденції – заступника голови експертної ради. Понад 30 років В.М. Пащенко є членом президії Українського географічного товариства, із 1999 р. очолює його Київський відділ. Його зусиллями, як засновника та головного редактора, багато років підтримується, забезпечується видання «Київського географічного щорічника» (виходить з 2001 р.) та «Супутника Київського географічного щорічника» (виходить із 2003 р.).

*Науково-громадська робота.* Започаткував і здійснює серію українознавчих історико-біографічних видань «Українські достойники» (з 2002 р.) і географічно-краєзнавчу серію видань «Рідні місця українців» (із 2008 р.). Важко знайти іншого такого науковця, який би на практиці – на конкретній практиці географа (та історика) втілював у життя патріотичні й громадянські га-

сла, не обмежуючись показовими гучними деклараціями, і фактично без сторонньої допомоги (чи при мінімумі такої).

До цього слід додати, що коло наукових інтересів В.М. Пащенка не обмежувалося географією. Наукознавство, філологія і лінгвістика – в цих сферах він теж залишив важливі роботи, думки, плани, ідеї.

І ще – про alter ego науковця В.М. Пащенка: він – поет. Поет не на кшталт «того, хто час від часу пописує вірші»: таких – багато. Наш ювіляр – член Національної спілки письменників України (із 1999 року); лауреат літературної премії імені Миколи Куліша (2013 р.); поет статусний, талановитий і визнаний колегами по літературному «цеху» (зокрема, Олесем Гончаром); поет ґрунтовного епічного складу і широких історичних полотен, автор 16-ти поетичних книг (збірок). У письменника Пащенка є свій стиль, своє особливе слово – вишукане, почасти навіть рафіноване, вдумливо-філософське і водночас глибоко-народне.

На перетині літературних і наукових інтенцій Володимир Михайлович Пащенко виступає як чи не єдиний в українському природничо-науковому паноптикумі професійний, послідовний і «озброєний» необхідними філологічними знаннями, борець за смислову чистоту і логічну адекватність наукової мови.

Таким в свій ювілей постає перед нами пересічний вчений, педагог, письменник, громадянин – професор В.М. Пащенко. Він і сьогодні сповнений завзяття й енергії. Очікується його наступна монографія: «Атрибутивне наукознавство» – подальший важливий внесок в теорію, метод, методологію. То ж побажаємо ювілярові міцного здоров'я, оптимізму, наснаги, довгих років життя і багато-багато нових внесків в науку і культуру нашої Вітчизни.

*Юліан Тютюнник, Сергій Конякін  
та  
редакційна колегія «Віснику»*

# ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Бартацук,**

к. геол. н., провідний наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,  
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

## ТЕКТОНІЧНА ІНВЕРСІЯ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ. ЧАСТИНА 2. ГЕОДИНАМІЧНІ ОБСТАНОВКИ І КІНЕМАТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ ДЕФОРМАЦІЙ РИФТОГЕННОЇ СТРУКТУРИ

Вивчалися геодинамічні обстановки і кінематичний механізм руйнування рифтогенної структури в південно-східному сегменті Дніпровсько-Донецької западини пізньогерцинськими та альпійськими орогенічними рухами. Використано дані інструментальних визначень вергентності тектонітів, реконструкції полів напруг і кількісного моделювання колізійних деформацій південної околиці Східноєвропейської платформи. Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини та Донбасу розпочалася в заальську фазу герцинського орогенезу через колізійні рухи компресійного орогена на околиці Палеотетиса. Горизонтальні рухи лівобічної кінематики південно-західного напрямку зумовили утворення в синеклізному чохла Західно-Донецького грабена пологих тектонічних зривів, вздовж яких сформувалася решітка насувів. Вона контролювала процеси витискання осадових порід у підкидо-насувному режимі від зон надстищення в осьовій та північній частинах грабена та тектонічний транспорт геомас в напрямку зон «геодинамічної тіні» в його південній частині. Внаслідок колізійного короблення горизонтів за механізмом позовжнього вигину шарів в північній частині грабену сформувалася лінійна підкидо-складчастість, а в південній – ешелони лускатих покривів насування.

У пізньому мезозої та кайнозої, в режимі інтерференції підкидо-насувного і горизонтально-зсувного поля зворотного напрямку та правобічної кінематики рухів, відбувалися вторинні деформації герцинської насувної решітки та лінійної складчастості з утворенням кулісно зчленованих підкидо-складчастих зон та ешелонованих складчастих покривів насування. Геодинамічна обстановка групування осей стиснення в західній частині Донбасу, який зазнавав орогенічного здійснення, зумовила істотне нарощування розриву чохла за рахунок насування мезо-кайнозойського алохтону на герцинський неоавтохтон та синеклізний автохтон південно-східного сегмента западини. У грабені це викликало формування тектонічного сегмента вторгнення геомас, діагностованого орокліном поперечного висування підсувного типу.

За результатами структурно-кінематичного аналізу герцинських та альпійських деформаційних структур розроблено принципову кінематичну модель тектонічної інверсії Дніпровсько-Донецької западини. Встановлено, що колізійні деформації рифтогенної структури в межах Західно-Донецького грабена здійснювалися під тиском тектонічного штамп Донцеького складчастого пояса і зумовили формування інверсійної структури регіонального масштабу – Західно-Донецької покривно-складчастої області.

**Ключові слова:** геодинамічні режими, кінематичний механізм, сегмент вклинювання геомас, ороклін поперечного висування, тектонічний штамп Донцеького складчастого пояса.

**А. В. Бартацук. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНВЕРСИЯ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ. ЧАСТЬ 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ДЕФОРМАЦИЙ РИФТОГЕННОЙ СТРУКТУРЫ.** Изучались геодинамические обстановки и кинематический механизм разрушения рифтогенной структуры на юго-востоке Днепровско-Донецкой впадины тектоническими движениями позднегерцинского и альпийского орогенеза. Используются данные реконструкции полей тектонических напряжений и количественного моделирования деформаций южной окраины Восточно-Европейской платформы. Тектоническая инверсия Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса началась в заальскую фазу орогенеза вследствие коллизионных движений компрессионного орогена на окраине Палеотетиса. Движения левосторонней кинематики юго-западного направления вызвали субгоризонтальные тектонические срывы с образованием решетки надвигов в палеозойском синеклизном чехле Западно-Донецкого грабена. Она контролировала процессы выдавливания осадочных геомасс во взбросо-надвиговом режиме от сверхсжатых зон в осевой и северной частях грабена и тектонический транспорт геомасс в направлении зон «геодинамической тени» в его южной части. Вследствие коллизионных деформаций горизонтов по механизму продольного изгиба слоев в северной части грабена сформировалась линейная взбросо-складчатость, а в южной - эшелонные чешуйчатые покровы надвижения.

В позднем мезозое и кайнозое, в режиме интерференции взбросо-надвигового и горизонтально-сдвигового поля обратного направления и правосторонней кинематики движений, происходили деформации герцинской надвиговой решетки и линейной складчатости с образованием кулисно сочлененных взбросо-складчатых зон и эшелонированных покровов надвижения. Геодинамическая обстановка группирования осей сжатия в западной части Донбасса, который испытывал орогенический подъём, обусловила надвижение мезо-кайнозойских алохтонных образований на герцинский неоавтохтон и синеклизный автохтон юго-восточного сегмента впадины. В грабене это вызвало формирование тектонического сегмента вторжения геомас, диагностированного орокліном поперечного выдвигания поддвигового типа.

По результатам кинематического анализа герцинских и альпийских деформационных структур разработана принципиальная кинематическая модель тектонической инверсии Днепровско-Донецкой впадины. Установлено, что, коллизионные деформации рифтогенной структуры в пределах Западно-Донецкого грабена осуществлялись под давлением тектонического штампа Донцеького складчатого пояса и обусловили формирование инверсионной структуры регионального масштаба – Западно-Донецкой покривно-складчатой области.

**Ключевые слова:** геодинамические режимы, кинематический механизм деформаций, сегмент вклинивания, ороклін выдвигания, тектонический штамп Донцеького складчатого пояса.

**Вступ.** Структурно-кінематична еволюція земної кори Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького прогину (ПДДП), розташованого на південній околиці ВЕП та утвореного Прип'ятським прогином, Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ) і Донецьким прогином (Донбас) (рис. 1) [1, 2]

здійснювалася в декількох контрастних геодинамічних обстановках: 1 – палеопротерозойської колізії літосферних плит Східноєвропейської платформи (СЄП) – Феноскандії і Сарматії, що привело до об'єднання мегаблоків Українського Щита і Воронежського кристалічного масиву;

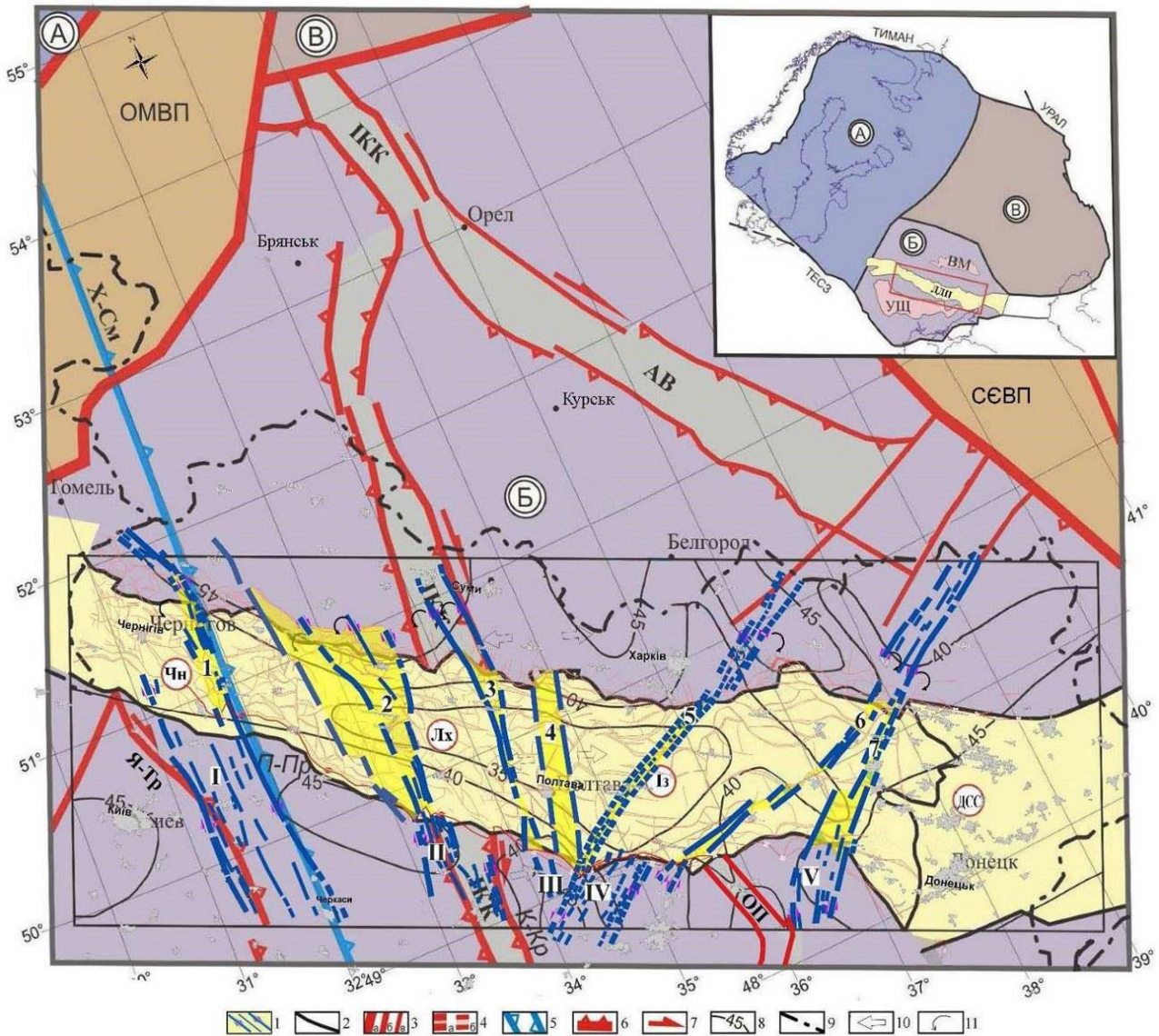


Рис. 1. Тектонічна позиція та сегментація Дніпровсько-Донецького палеорифта на схемах Сарматського геосегмента [1] та Східноєвропейської платформи (врізка) [2] з доповненнями [7].

Умовні позначення: 1 – міжсегментні зони; 2 – границі палеорифту; 3 – розломи: а – міжгеоблокові, б – міжмегаблокові: Я-Тр – Ядлівсько-Трактємирівський, К-Кр – Криворізько-Кременчуцький; в – міжблокові; 4 – шовні зони: ІКК – Інгuleцько-Криворізько-Крупецька, АВ – Олексіївсько-Воронезька, ОП – Оріхово-Павлоградська; 5 – Х-См – тектонічний шов Херсон-Смоленський; глибинні розломи: 6 – насуви; 7 – зсуви; 8 – глибина поверхні Мохо (км); 9 – державний кордон; 10-11 – напрямки загальних і ротаційних тектонічних рухів в міжсегментних зонах. Букви на схемах: А-В – геосегменти Східноєвропейської платформи: А – Феноскандія, Б – Сарматія, В – Волго-Уралія. Сегменти Дніпровсько-Донецького палеорифту: Чн – Чернігівський, Лх – Лохвицький, Із – Ізюмський; ДСС - Донецька складчаста споруда. Вулканічні міжгеосегментні пояси: ОМВП – Осницько-Мікашевичський; СЄВП – Ставропольсько-Єртільський. Міжблокові зони Українського щита: І- Кіровоградська; ІІ- Інгuleцько-Криворізько-Кременчуцька; ІІІ- Дніпродзержинська; ІV- Одеська; V- Центральноприазовсько-Слов'яногірська [Карта разрывных..., 1988]. Міжсегментні зони: 1- Кіровоградська; 2- Інгuleцько-Криворізька; 3- Дніпродзержинська; 4- Верховцівсько-Львовська; 5- Коломацько-Кобеляцька; 6- Балаклійсько-Синельниківська; 7- Центральноприазовсько-Слов'яногірська [Чебаненко и др., 1991]

2 – ранньорифейського рифтогенеза з розсувом континентальної літосфери і закладанням трогового прогину в тілі Сарматської плити; 3 – епіконтинентального рифтогенеза в пізньому девоні-карбоні з утворенням недорозвиненого рифту (авлакогена); 4 – пізньогерцинської платформної активізації на тлі синеклізного прогинання рифтогенного басейну з формуванням складчастості ДДЗ і основних лінійних складчастих зон в Донбасі; 5 – кіммерійсько-альпійської інверсії тектонічного режиму з формуванням Донецького складчастого пояса (ДСП) та ускладненням рифтогенної структури ДДЗ колізійними деформаціями [3, 4, 5, 6, 7].

Роботами В. Попова, Д. Айзенверга, В. Хаїна, Л. Зоненшайна, С. Субботіна, В. Соллогуба, В. Чекунова, В. Казьміна, Н. Тихонової, В. Корчемагіна, М. Коппа, В. Ємця, В. Дудника, Ю. Рябоштана, С. Стівби, В. Анциферова, О. Гінтова, В. Гончара, С. Горяїнова та ін., які детально досліджували літолого-фаціальні умови осадо накопичення та тектоніку південної околиці ССП, сформовано загальне уявлення про геодинамічні обставини седиментаційної та структурної еволюції ДДЗ і Донбасу.

Вивчення природного механізму колізійних деформацій ДДЗ є актуальним питанням регіональної геотектоніки, рішення якого буде мати важливий вплив на теорію та практику геолого-розвідувальних робіт на нафту і газ. Її рішення буде сприяти пізнанню природних механізмів структурно-кінематичної еволюції континентальної земної кори, умов формування і закономірностей розміщення в надрах осадових басейнів інверсійних складчастих структур - потенційних пасток вуглеводнів в надрах Дніпровсько-Донецької нафтогазоносною провінції, таким чином підвищуючи ефективність геолого-розвідувальних робіт на нафту і газ.

В першій частині статті [8], з використанням новітніх матеріалів геокартування території Західно-Донецького грабена (ЗДГ) [9], показано, що в структурно-тектонічному відношенні більша частина південно-східного сегмента ДДЗ характеризується складною багатоповерховою будовою через накладення насувних і зсувних покривно-складчастих деформацій різних геологічних епох, розвинених зонально. У стратиграфічному розрізі осадового чохла ЗДГ встановлено чотири кутових незгоди, які розділяють п'ять дислокаційних структурних поверхів, сформованих в розрізі палеозою, мезозою та кайнозою внаслідок чергування епох осадо накопичення та деформацій, що іноді супроводжувалися магматизмом [10, 11]. Через неповне просторове поширення деформацій різних епох на території існують не тільки вертикальні, але й латеральні

співвідношення між структурними поверхами осадового чохла, які в різних тектонічних районах мають різний ступень стратиграфічного наповнення. Кожен структурний поверх, за винятком слабо деформованого синеклізного чохла, разом із залишками стратифікованих утворень, в своєму складі містить комплекси новоутворених тектонітів, які наскрізь перетинають давнішні структурні поверхи.

На підставі ідентифікації колізійної природи досліджуваної сукупності вторинних деформаційних структур було вдосконалено схему регіонального тектонічного районування [8]. На території ЗДГ та перехідної зони між ДДЗ та ДСС за даними структурного аналізу деформацій виділено Західно-Донецьку покривно-складчасту тектонічну область, яка розглядається структурним результатом тектонічної інверсії рифтогенної структури в південно-східній частині западини (рис. 6 в частині 1). Головним структурним елементом області визначено однойменний клиноформний сегмент тектонічного вклинювання осадових геомас субрегіонального масштабу. Встановлено, що тіло сегменту складається з двох різновікових систем тектонічного насунання осадових геомас – Герцинської та Альпійської. За тектонічним стилем та інтенсивністю формування платформного осадового чохла в південно-західній частині сегменту виділено Кальміус-Торецький район лускатих тектонічних покривів насунання, що з півдня обмежується Південно-Донбаською герцинською меланжевою зоною. Північно-східну половину сегменту охоплює Лугансько-Комишуваський район кулісно-ешелонованої лінійної складчастості насунання, який з півночі обмежується слабодислокованим мезозойсько-кайнозойським платформним чохлом.

В другій частині статті, з використанням структурно-кінематичного аналізу деформаційних структур, на матеріалах геокартування дислокаційних поверхів палеозойського чохла ЗДГ, з урахуванням польових інструментальних визначень вергентності тектонітів герцинської і альпійської епох орогенеза, даних реконструкції полів тектонічних напружень і новітніх матеріалів кількісного моделювання колізійних деформацій південній околиці ВЕП, відновлювалися геодинамічні обставини тектонічної інверсії рифтогенної структури в межах південно-східного сегмента ДДЗ. На підставі реконструкції геодинамічних режимів інверсійних деформацій зроблено спробу діагностувати кінематичний механізм формування Герцинської та Альпійської систем тектонічного насунання осадових геомас, виділених на попередньому етапі досліджень [8]. З цією метою розроблено оригінальну кінематичну модель формування інверсійної геоструктури в

південно-східному сегменті ДДЗ, що вперше виділяється як Західно-Донецька покривно-складчаста тектонічна область.

**Аналіз попередніх досліджень.** Встановлено, що після майже повної осадової компенсації рифтогенного басейна в середині карбону [12], в структурному розвитку ДДЗ переважали висхідні тектонічні рухи, що зумовили процеси континентального осадонакопичення, в ході якого седиментаційна інверсія спершу доповнилася, а потім змінилася інверсією тектонічного режиму [3]. Протягом московського віку відбулася докорінна зміна осадових фацій в рифтогенному басейні. На заміну морської седиментації прийшли умови алювіально-дельтової долини, часом евтатично змінюваного в центральній і південно-східній частинах басейну осадонакопичення мілководно-морськими, в той час як глибководний басейн продовжував існування лише на схід від Донбасу [13]. На протязі пізнього карбону, зі збільшенням площі континентальної акумуляції відбулося посилення седиментаційної інверсії басейну, при цьому територія Донбасу зазнала інтенсивного підйому через зміну тектонічного режиму, вийшовши зі складу єдиного басейну осадонакопичення як область стійкої суші.

Прогресування інверсійного підйому Донбасу та його подальша структурна еволюція в якості окремої інверсійної геоструктури - ДСП розглядається результатом тангенціального стиснення, викликаного колізійним тиском з півдня пізньопалеозойського орогена Кавказа, що розпочав своє формування [14]. Пізньогерцинські колізійні події та тектонічні рухи на околиці СЄП розглядаються або проявом "великої колізії" між Африкою та Європою [3], або результатом тектонічного доточення кількох мікроконтинентів до південної околиці СЄП без зіткнення цих плит [15], або режимом правобічної трансенсії [16], що найменш ймовірно для Донбасу. Більшість дослідників вважають мезозойські та кайнозойські рухи і деформації, що викликали прогресування режиму стиснення та ускладнення герцинської складчастості деформаційними парагенезами правобічної кінематики, слідством колізійних процесів в межах Чорноморсько-Кавказького сегмента компресійного орогена Палеотетису [17, 18, 19, 20, 21].

За даними кількісного моделювання тектонічної інверсії ДДЗ і Донбасу, земна кора рифтогенної геоструктури ПДДП, розташованої на південній периферії СЄП, являла собою тектонічно ослаблену, внутрішньоплитну, конвергентну зону концентрації міжплитних деформацій [6]. При цьому, тип деформацій визначався характером взаємодії активних літосферних плит на околицях СЄП, а фази орогенезу та зумовлена

ними інверсійна складчастість були слідством просторово досить віддалених пізньогерцинських, кіммерійських та альпійських колізійних процесів. Тому, структурна інверсія ДДЗ і Донбасу вважається результатом їх розміщення в тилу компресійного орогена Палеотетису, який розпочав своє формування не пізніше ранньої пермі.

Зіставлення модельних і реконструйованих полів напруг свідчить, що початок тектонічної інверсії ДДЗ припадає на кінець ранньої перми [6]. Найбільш ймовірно, що деформації рифтогенної структури відбувалися в режимі косої колізії під впливом зустрічних рухів лівосторонньої кінематики північного фронту колізійного орогена, сформованого на активній плиті в межах Палеотетису (рис. 2, а). У тілі Сарматської плити ця колізійна подія створила поле тектонічних напруг переважного північно-східного напрямку тангенціального стиснення. Через це осадовий басейн зазнав нерівномірну в поперечному перерізі деформацію: інверсійна складчастість охопила переважно осьову і північну прибортову зони ДДЗ. В цей час закладалися основні лінійні складчасті зони Донбасу, центрального і південно-східного сегментів западини.

Подальшу тектонічну еволюцію рифтогенного басейна, початком якої розглядається пізньопермський вік, спричинили горизонтально-зсувні зміщення правобічної кінематики рухів з перемінною компонентою стиснення, що відбувалися поблизу південної околиці СЄП. При цьому, траєкторії стискаючих напруг в межах Українського Щита змінили свій напрямок на північно-західний, а на території западини мали північ-північно-західну орієнтацію (рис. 2, б). В результаті область максимальних горизонтально-зсувних деформацій розташувалася в південній прикордонній смузі активної околиці орогена Палеотетис. Це викликало незначне розтягнення на більшій частині території південно-східного сегмента ДДЗ, утворення горизонтальних зсувів правобічної кінематики рухів, якими контролювалася накладена мезозойська прирозломна складчастість. Вважається, що підкидо-насувні обстановки могли зберігатися лише в північно-східній частині басейна через віялоподібний розподіл траєкторій стискаючих напруг (рис 2, в). Прогресування процесів стиснення північно-східного напрямку зумовило в Донбасі зсувні деформації лінійної герцинської складчастості та формування складчастих покривів насування.

**Мета і завдання досліджень.** Метою регіональних геотектонічних досліджень є визначення геодинамічного режиму тектонічної інверсії рифтогенної структури та діагностика природного механізму формування на території ЗДГ інвер-

сійної геоструктури – Західно-Донецької покривно-складчастої області. Для досягнення цієї мети розроблялася принципова кінематична модель формування Герцинської та Альпійської систем тектонічного насування осадових геомас, що її складають.

**Матеріали та методи досліджень.** При дослідженнях використовувався структурно-кінематичний аналіз вторинних деформаційних структур [22].

Аналітичним картографічним матеріалом є порівняльна схема тектонітів території ЗДГ [9].

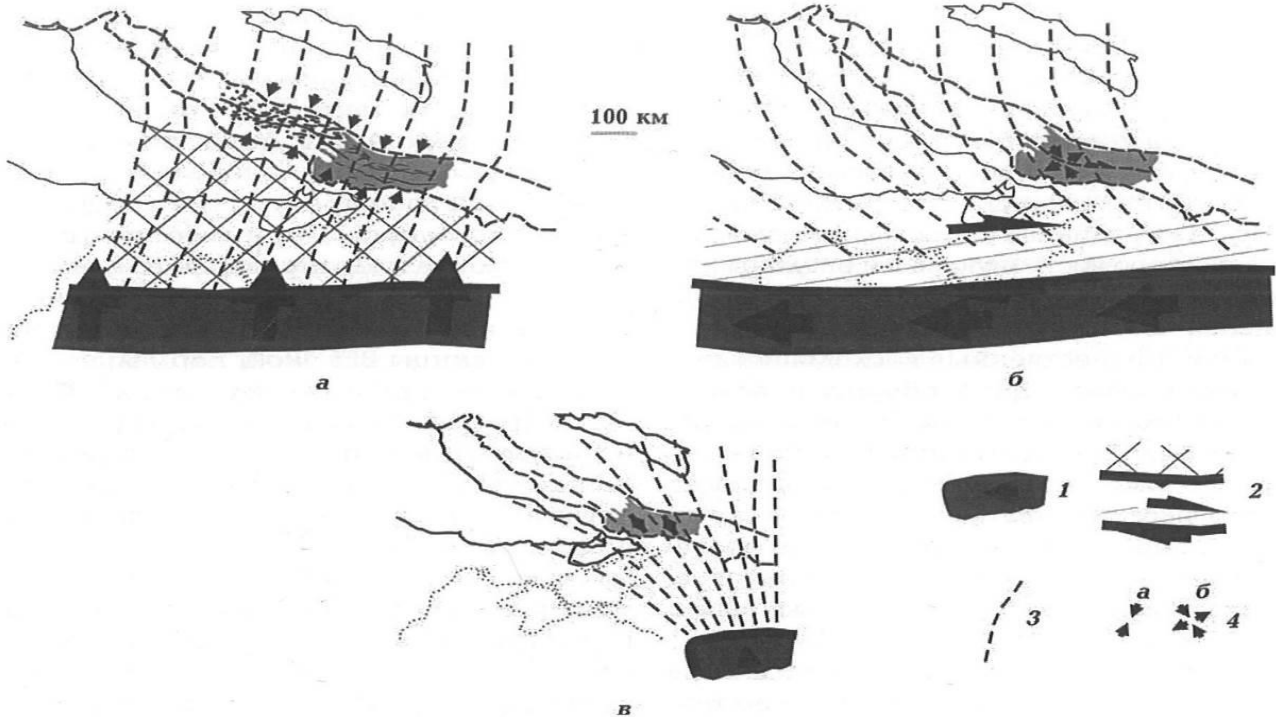


Рис. 2. Схеми геодинамічних режимів тектонічної інверсії Дніпровсько-Донецького палеорифту [6]: а – колізійний режим початкового етапу інверсії; б – локальна транстенсія в режимі правобічного зсування головного етапу інверсії; в – схема індукційного впливу віддаленого колізійного орогену. Умовні позначення: 1 – рухома зона активної околиці; 2 – деформаційні обстановки: зверху – колізії, знизу – право-зсувні деформації; 3 – модельні траєкторії напруг стиснення; 4 – режими: а – тангенціального стиснення; б – горизонтально-зсувного деформування

**Результати досліджень.** На території ЗДГ і перехідної зони між ДДЗ і ДСП в осадовому чохла встановлено круті кути падіння гірських порід (до 50-70°), сильну дислокованість та насиченість осадової товщі комплексами тектонітів, що перетинають її наскрізь, високі палеотемператури, що викликали підвищену щільність порід і глибокий метаморфізм вугілля Донбасу, активний вулканізм кислого складу і пов'язані з ним гидротермально-метасоматичні прояви [23]. На даний час це розглядається результатом прояву значних тектонічних рухів, спрямованих з півдня і південного сходу внаслідок геодинамічних процесів, що відбувалися на активних тектонічних плитах Палеотетиса. На теренах ДДЗ та Донбасу під їх впливом в режимі загального колізійного стиснення відбувалася інверсія тектонічного режиму.

Ааналіз даних реконструкції полів напруг Донбасу [17, 24], кількісного моделювання тектонічної інверсії ДДЗ і Донбасу та зіставлення

модельних і реконструйованих полів напруг [6] свідчить, що на початковому етапі інверсії тектонічного режиму, на протязі заальської фази пізньогерцинської епохи тектогенеза, деформаційне структуроформування в ДДЗ відбувалося в геодинамічній обстановці косої колізії на тлі інверсійного підйому Донбасу (рис. 2, а).

При цьому, поперечне колізійне стиснення рифтогенної структури відбувалося в підкидонасувному режимі з лівосторонньою складовою горизонтальних рухів. Воно характеризувалося північно-східним нахилом осі максимальних напруг стиснення Б1 та нахилом осі середніх напружень стиснення Б2, відповідно, в північно-західному напрямку. В таких геодинамічних умовах, відповідно до законів геомеханіки [25], горизонтальні переміщення активізованих геомас осадових порід здійснюватися вздовж парних осей  $\tau$  максимальних дотичних напружень, спрямованих в південному та західному напрямках. На нашу думку, це могло викликати тектоні-

чний транспорт геомас від надстилої осьової зони в напрямку найменш стиснених ділянок – зон "геодинамічної тіні" або "геодинамічного притулку" в південній прибортовій частині западини [7].

У пізньому мезозой-кайнозой прогресування процесів стиснення в умовах прояву на активній околиці орогену Палеотетису горизонтальних рухів правобічної кінематики викликало ускладнення герцинської складчастості, про що свідчать криволінійні деформації первинно лінійної герцинської насувної решітки і відповідні викривлення осей динамічно сполученої з нею прирозломної складчастості. Вторинне деформаційне структуроутворення відбувалося в геодинамічній обстановці інтерференції регіонального горизонтального зсувного поля правобічної кінематики рухів і загального колізійного тангенціального стиснення з нахилом осі стиснення в північно-західних і північних румбах (рис. 2, б). Через утворення в центральній осьовій частині ЗДГ району концентрації головних осей стиснення північно-західної, «донецької» азимутальної орієнтації, дислоковані, зім'яті в складки геомаси чохла в зсуво-насувному режимі переміщувалися в північно-західному напрямку - від інверсійної геоструктури ДСП в напрямку менш стислої території південно-східного сегмента ДДЗ (рис. 3).

Встановлено, що основними елементами геологічної будови Західно-Донецької інверсійної тектонічної області є:

- осадові світи кайнозою та їх ерозійні останці;
- дислоковані світи мезозою, що поховані під кайнозойським чохлам;
- деформовані тектонічні блоки осадових світ палеозою;
- тектоніти Стельського, Соколицьовського та Шумилівського динамометаморфічних комплексів пізньогерцинської та альпійської епох;
- релікти рифтової решітки тектонітів, докембрійських та нестратифікованих комплексів в окремих тектонічних блоках;
- магматичні і вулканічні комплекси палеозою і мезозою;
- девонські соляні діапіри.

Горизонтальні переміщення активізованих геомас осадових комплексів на території ЗДГ контролювалися Герцинською та Альпійською (Ларамійською і Аттичною) підкидо- та зсуво-насувними решітками (рис. 4). Встановлено, що вздовж них сформувалися кулісно зчленовані підкидо-складчасті зони лінійних антиклінальних структур та ешелоновані ансамблі тектонічних лусок та пластин покривів насунання (рис. 1-

5 в частині 1). Разом вони утворюють Герцинську та Альпійську динамічно спряжені системи тектонічного насунання геомас, що розглядаються головними структуроформуючими, геодинамічними елементами в складі Західно-Донецької покривно-складчастої тектонічної області, вперше виділеної нами в межах південно-східного сегмента ДДЗ [8].

Герцинськими рухами було зумовлено деформації колізійного короблення горизонтів палеозоя в підкидо-насувному геодинамічному режимі. При цьому, структуроформуючі процеси могли відбуватися за кінематичним механізмом поздовжнього вигину шарів [25] з утворенням великих, лінійних підкидо-антиклиналей, які в тектонофізичному сенсі ідентифіковані прирозломними дуплексами стиснення. Сукупність інверсійних структур, сформованих колізійними рухами в герцинську епоху розглядається як Герцинська система тектонічного насунання осадових геомас палеозойського чохла (рис. 4).

Наймолодшим комплексом тектонітів на території ЗДГ є Аттичний, північну межу розвитку якого контролюють площини Мар'ївського та Лисичанського зсуво-насувів [9] (рис. 4). На південь від них весь доаттичний осадовий чохол розбитий на тектонічні блоки, що складають інверсійну структуру Західно-Донецької покривно-складчастої області. Ці блоки з кутовою незгодою перекриваються переривчастим чохлам недислокованих пліоцен-антропогенових відкладів. Товщина осадового чохла в межах грабена поступово зменшується на північний схід від 1,6 до 0,5 км. На геологічному розрізі (рис. 4 в частині 1) видно пологий нахил світ мезозою в південно-західному напрямку, що зростає від верхньої крейди до підшви тріасу. Це свідчить про конседиментаційне прогинання, більш інтенсивне на південному заході, ніж на північному сході грабена.

Отже, встановлено, що дислокований чохол центральної, зануреної частини грабена має змінний стратиграфічний обсяг, який на ділянках перетину ешелонами насувів стрибкоподібно нарощується (рис. 1–4 в частині 1). З південного сходу на північний захід та з півдня на північ він змінюється від пліоцен-четвертинного до кайнозойського та згодом до мезо-кайнозойського. Різко неузгоджене співвідношення моноклінальної структури синеклізного чохла зі складчастими поверхнями інверсійної структури Західно-Донецької покривно-складчастої області свідчать про її новітній вік та сучасну денудацію.

Встановлено збільшення інтенсивності колізійних деформацій на півдні, що встановлено на докембрійських полях Приазовського кристаліч-

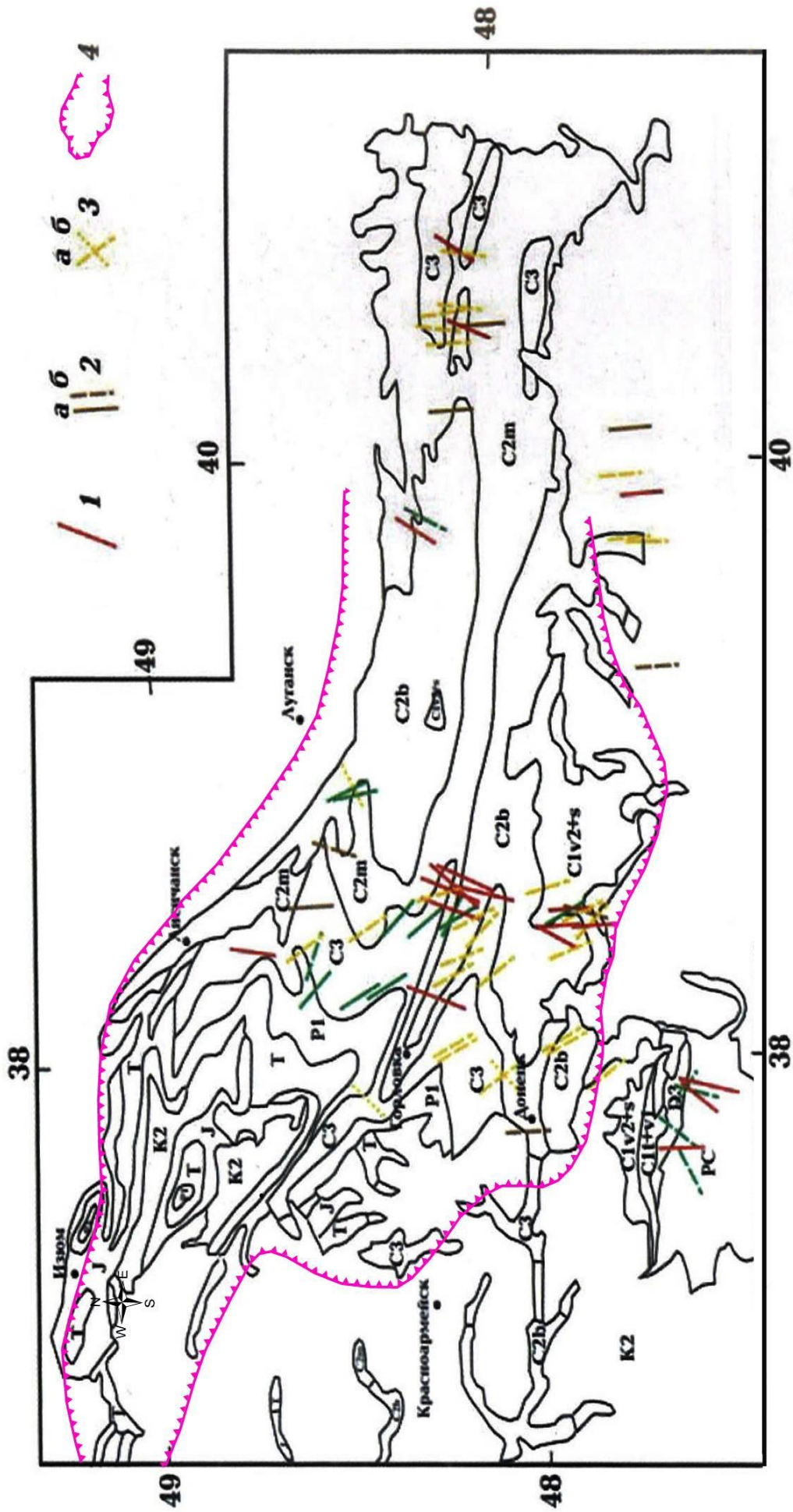


Рис. 3. Схема орієнтації осей напруг стискання на території Західно-Донецького грабена [6] з доповненням [8].  
 Умовні позначення: 1-3 – орієнтація осей стискання за різними геодинамічними моделями: 1 – колізії; 2 – правобічної трансресії; а – підкидовий, б – зсувний типи; 3 – правобічного зсування: а – зсувний, б – скидовий типи. 4 – межі Західно-Донецького сегменту тектонічного вклинювання



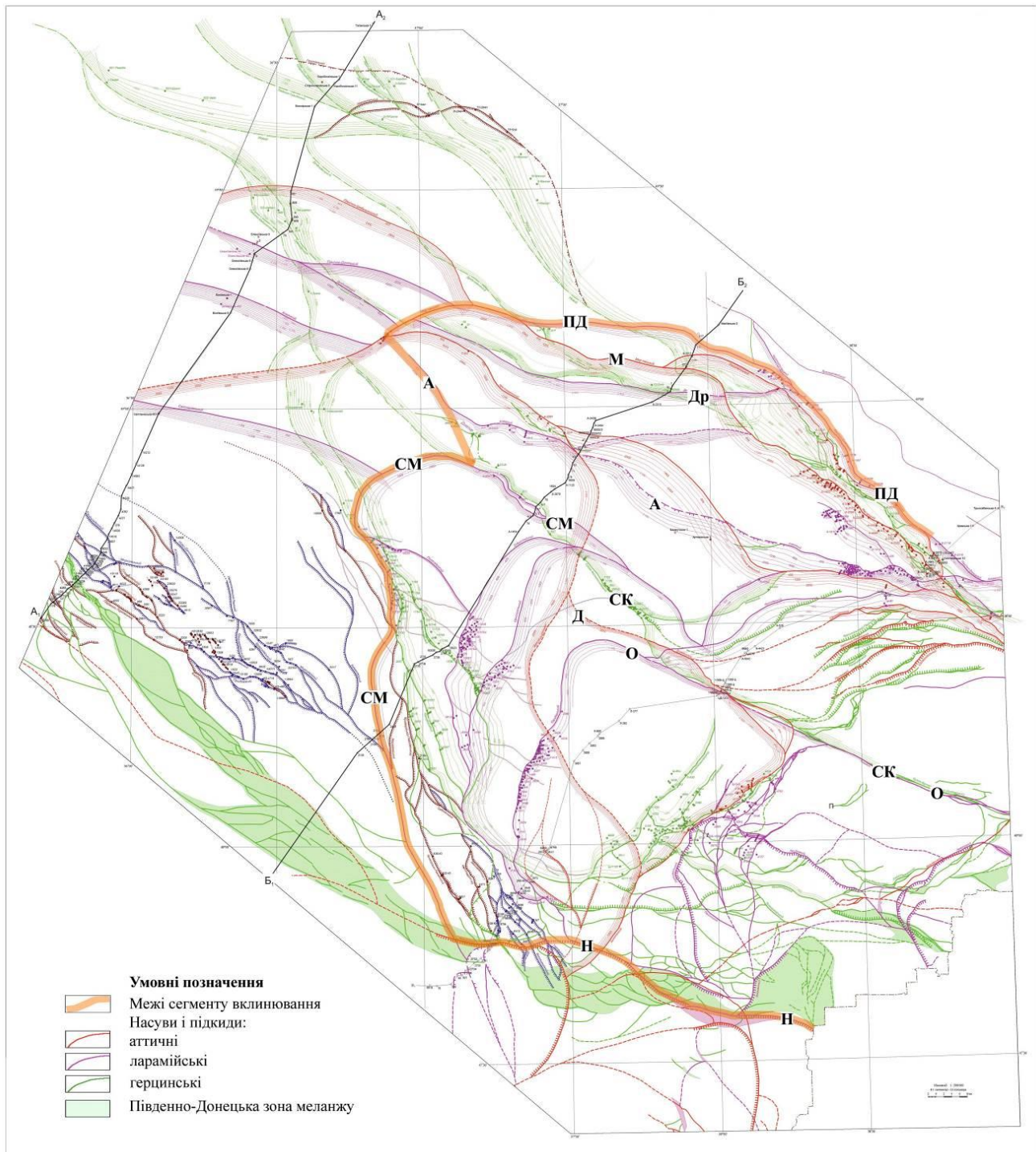


Рис. 4. Схема тектонітів Герцинського, Ларамійського та Аттичного структурних поверхів, за даними геокартування [9].

Насуви і підкиди: ПД- Північно-Донецький, М- Маріївський, Др- Дробишівський, А- Алмазний, СМ- Самарський, Д- Ділеєвський, СК- Суліно-Костянтинівський, О- Осьовий, Н- Новоселівський

ного масиву та в зоні тектонічного зчленування з ДСП по зменшенню розмірів тектонічних блоків, розширенню міжблокових зон дроблення і широким меланжевих зонах північно-західній вергентності [9]. На південно-західному крилі Ларамійської системи насунання, в зоні зчленування зі Західно-Донбаською меланжевою зоною, по площині Самарського магістрального зсуво-

насува дислоковані палеозойські та докембрійські породи насунені на слабодислокований мезозой (рис. 4). Ларамійські тектоніти перетинають тут шаруватість дислокованого осадового чохла під великими кутами, що особливо притаманно мезозойській товщі. Окремі гілки насувів успадковують шаруватість кам'яновугільних світ, що є показником того, що ларамійські деформації ро-

звивалися по складчастій на той час структурі палеозою – тобто по поверхні герцинського неоавтохтона.

Міжблокова деструкція порід субстрату привела до утворення ларамійських тектонітів Соколицьовського комплексу [9]. Вони складають тектонічну решітку, окремі гілки якої є магістральними зсуво-насувами Ларамійської системи тектонічного насування геомас. До них достовірно віднесені Північно-Донецький (вертикальна складова амплітуди 800-1500 м), Алмазний (амплітуда від 500-800 до 1400 м), Дробишівський (амплітуда 300м), Самарський (амплітуда 70-100м), Центральний (амплітуда 260-300 м), Осьовий або Ділеєвський (амплітуда близько 300 м).

На головному етапі інверсії тектонічного режиму, на протязі ларамійської та аттичної фаз альпійського орогенезу, колізійні деформації відбувалися в геодинамічних умовах концентрації осей стиснення в центральній частині ЗДГ. В зсуво-насувному режимі почалося насування дислокованих, зім'ятих в складки геомас осадового чохла від складчастого Донбасу на північний захід - в напрямку менш стиснених ділянок «геодинамічної тіні» південно-східного сегменту западини. Завдяки чому деформації осадової товщі могли відбуватися за кінематичним механізмом формування покривно-складчастої системи тектонічного насування осадових геомас (рис. 5). Формування типових покривно-складчастих систем відбувається під час поетапних дислокацій осадової товщі за рахунок перекриття давніших тектонічних пластин насунутими на них новоутвореними молодшими за віком пластинами покривів. Цей тектонічний процес зумовлює поступове нарощення осадового розрізу, що істотно деформується по вертикалі при одночасному значному його скороченню по площі.

Передбачено, що великі амплітуди горизонтальних переміщень в умовах обмеженого геологічного простору грабену зумовили значні викривлення в плані лінійних площин зсуво-насувів. Особливо це стосується трас магістральних герцинських – Північно-Донецького, Дробишівського та альпійських – Мар'ївського і Хрещищенського на північно-східному крилі і Самарського на південно-західному крилі Альпійської системи насування (рис. 4). Зі зміною простягання магістральних зсуво-насувів з північно-західного на західне одночасно відбувалися відповідні вигини осей прирозломних антиклінальних та синклінальних складок, сформованих в їх піднятих крилах, з тенденцією пристосування до зміни їх простягання. Незмінним лишилося північно-західне простягання магістральних зсуво-підкидів в осьовій зоні грабена – Суліно-Костянтинівського та Осьового (Ділеєвського).

Структурно-кінематичний аналіз рисунків тектонітів та ансамблів деформаційних структур, виконаний на порівняльній схемі герцинських, ларамійських та аттичних тектонітів, дозволив відновити кінематичний механізм тектонічної інверсії ДДЗ (рис. 6). Тектонічний каркас інверсійних деформацій на території ЗДГ утворюють три динамічно пов'язані лінійні зони горизонтально-зсувного контролю – Північно-Східна, Південно-Західна та Центральна. Перші дві виділяються в якості зовнішніх меж, що виокремлюють на території ЗДГ Західно-Донецький клиноформний сегмент тектонічного вклинювання геомас. За тектонофізичних ознак він діагностований тектонічним орокліном висунання підсувного типу, згідно класифікації деформаційних структур горизонтального переміщення [26].

Центральна лінійна зона вторгнення геомас виділяється в осьовій зоні грабена, де її утворюють гілки магістральних зсуво-підкидів – Самарського, Суліно-Костянтинівського, Осьового (Ділеєвського) північно-західного простягання (рис. 4, 6). Вздовж них сформована велика, протяжна осьова складчаста зона прирозломних, кулісно зчленованих підкидо-складок, яку складають Великокомишуваська, Новотроїцька, Дружківсько-Костянтинівська та Головна лінійні антиклінали.

У форланді тектонічного сегмента вторгнення, на закінченнях магістральних зсуво-насувів альпійської та герцинської генерацій, сформувався тектонічний вузол динамічно пов'язаних тектонітів, який з точки зору тектонофізики діагностований передовим тектонічним віялом стиснення (рис. 6). Уздовж південно-західного крила тектонічного сегмента сформована протяжна смуга ешелонованих тектонічних покривів, контрольована каркасом альпійських та герцинських зсуво-насувів. На північно-східному крилі сегмента вторгнення, уздовж решітки ларамійських та аттичних Північно-Донецького, Мар'ївського Дробишівського та Лисичанського зсуво-насувів сформувалися зони кулісно зчленованих, прирозломних підкидо-складок (рис. 4, рис. 5 в частині 1).

**Наукова новизна.** За тектонофізичних ознак виділено три лінійні зони горизонтально-зсувного контролю, що могли слугувати динамічно пов'язаними «тектонічними рейками вторгнення» геомас, за якими покривно-складчастий алохтон насувався на слабо дислокований рифтогенний автохтон, а згодом, на герцинський неоавтохтон південно-східній частині ДДЗ. За результатами структурно-кінематичного аналізу деформацій вперше встановлено, що внаслідок інверсійних деформацій платформного осадового чохла під тиском «тектонічного штамп» складчас-

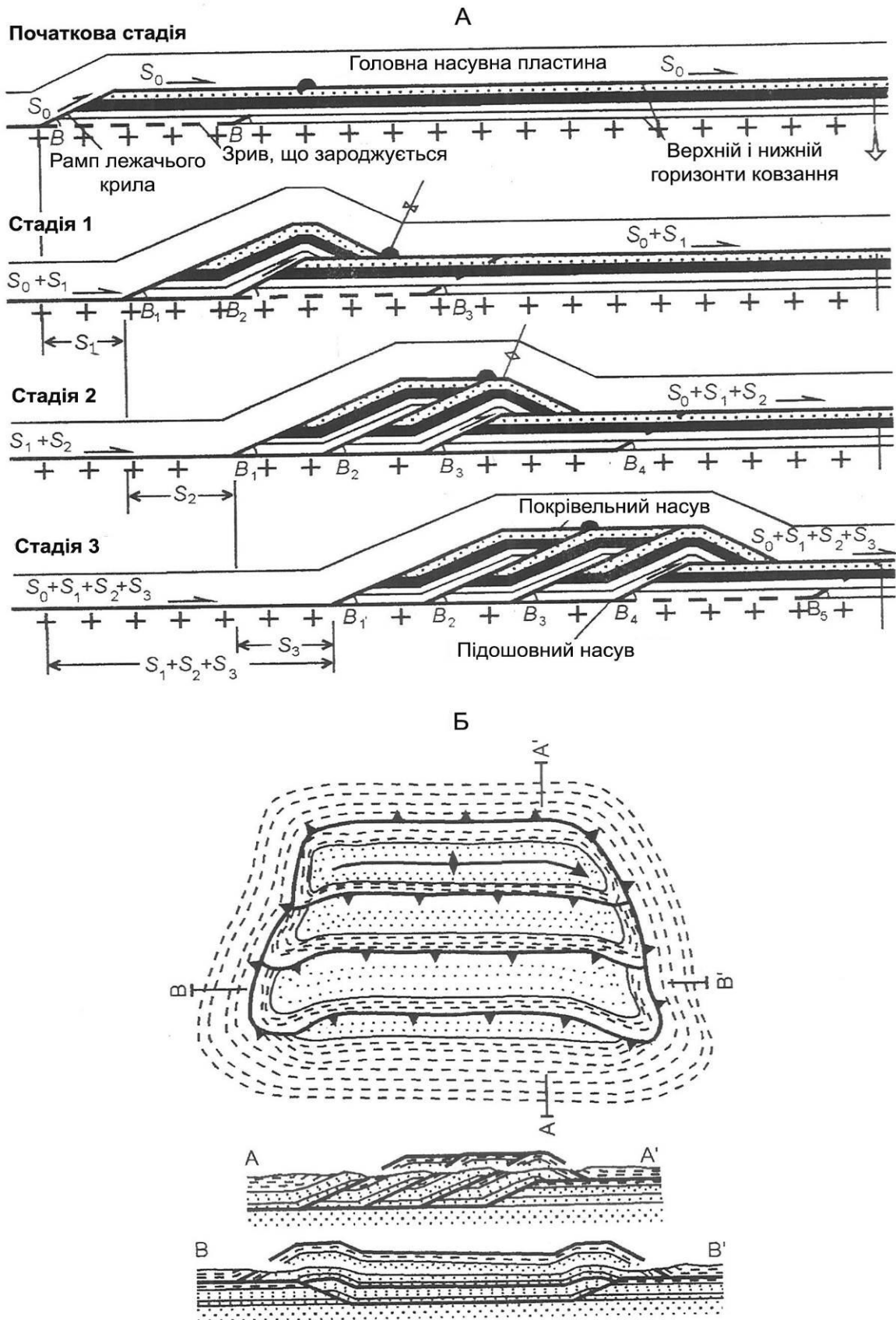


Рис. 5. Принципові схеми:

А – кінематичного механізму нарощування загальної товщини алохтонних утворень в розрізі з статними скороченням геологічного простору за рахунок формування нових тектонічних пластин-покровів. Б – покривно-складчастої системи тектонічного насування осадових геомас: план та розрізи, за А.К. Худолеєм (СПбУ, ВСЕГЕИ, 2005)

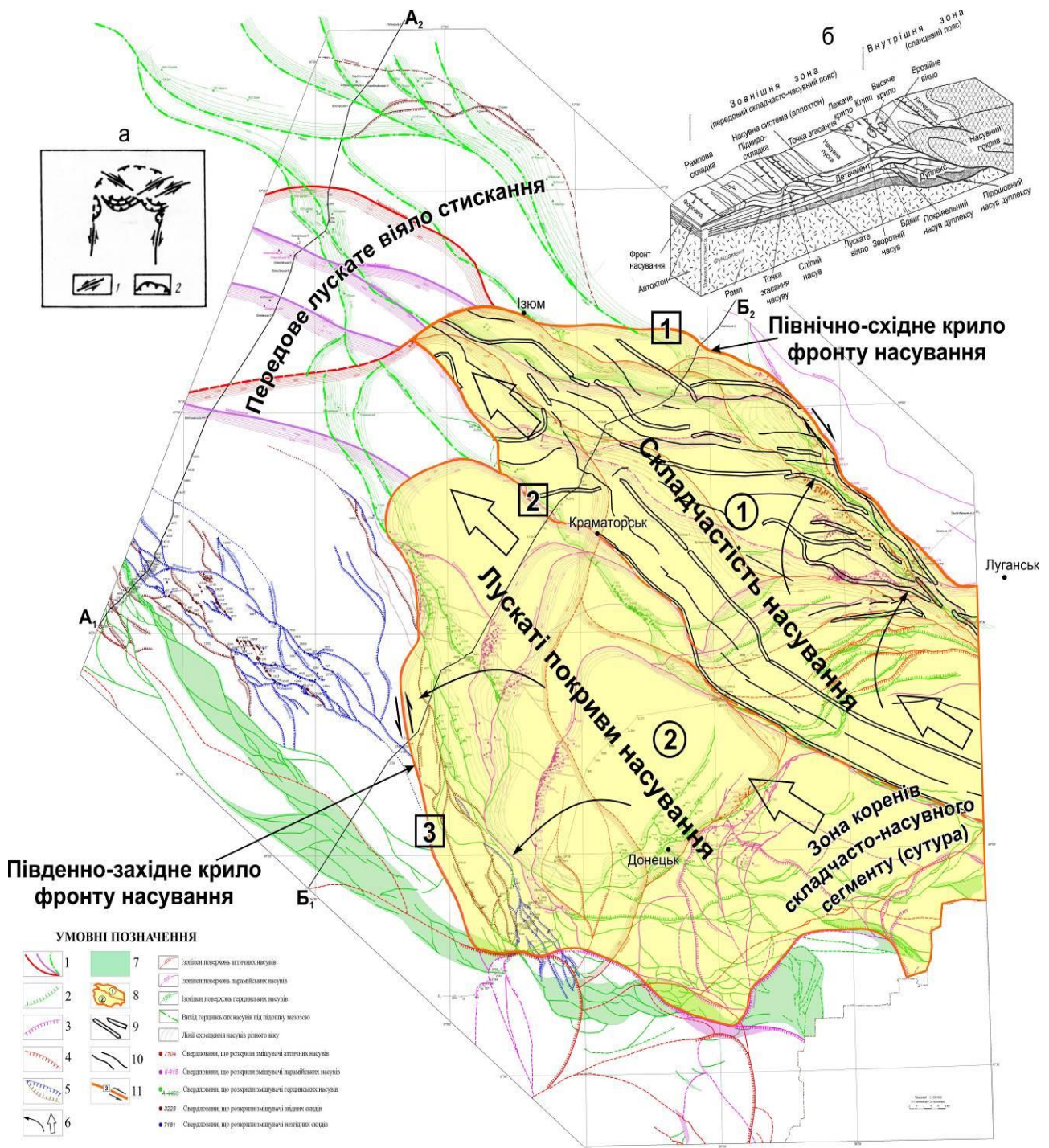


Рис. 6. Структурно-кінематична модель формування Західно-Донецької покривно-складчастої області. Умовні позначення: 1– тектонічне віяло стискання; 2-5 – рифтогенні скиди, згідні та незгідні; 6– напрямки розтікання і транспорту геомас; 7– Південно-Донецька меланжева зона; 8– сегмент тектонічного вклинювання: (1) Лугансько-Комишуваський район кулісної складчастості, (2) Кальміус-Торецький район покривів насування; 9– синформи; 10– антиформи; 11 – Лінійні зони вторгнення: [1] – Північно-східна зона, [2] – Центральна зона, [3] – Південно-західна зона. Врізки: а- принципова схема ороклину висування (план) [26], б- модель системи тектонічного насування, за А.К. Худолем (СПБУ, ВСЕГЕИ, 2005)

того Донбасу на території ЗДГ був сформований сегмент тектонічного вклинювання осадових геомас, що ускладнює рифтогенну структуру на південному сході ДДЗ. Його визначено головним структурним елементом Західно-Донецької покривно-складчастої тектонічної області, яка вперше виділяється в якості інверсійної структури регіонального масштабу.

**Висновки та практична значущість.** Підсумком досліджень є розробка оригінальної структурно-кінематичної моделі тектонічної інверсії південно-східній частині ДДЗ. Згідно моделі, на початковому етапі інверсії, в пізньогерцинську епоху орогенеза, через загальне колізійне стиснення у підкидо-насувному режимі відбувалося тангенційне стиснення рифтогенної структури. Цей геодинамічний режим зумовив формування лінійних складчастих форм за механізмом поздовжнього вигинання та поперечне насунання осадових геомас від осьової зони в напрямку південного борту ЗДГ. На головному етапі інверсії, на протязі кіммерійської та альпійської епох, геодинамічну обстановку визначав тиск тектонічного штампа складчастого Донбасу, що

знав інверсійного підйому. Під його впливом вздовж тектонічної решітки ларамійських та аттичних зсуво-насувів на слабо дислокований синеклізний автохтон западини з південного сходу була насунута інтенсивно зім'ята в складки осадова товща. Тектонічні рейки поздовжнього вторгнення геомас сформувалися вздовж трьох динамічно пов'язаних лінійних зон горизонтально-зсувного контролю - Північно-Східної, Південно-Західної та Центральної. В межах грабена вони контролюють новітню тектонічну позицію сегмента тектонічного вклинювання геомас, сформованого за кінематичним механізмом поперечного ороклина висунання підсувного типу. Структурним результатом тектонічної інверсії рифтогенної структури на території ЗДГ розглядається формування інверсійної геоструктури регіонального масштабу – Західно-Донецької покривно-складчастої тектонічної області. Цей теоретичний висновок вважається підставою для корегування регіональних схем тектонічного та нафтогазогеологічного районування території ДДЗ та Східної нафтогазовидобувної області.

#### Література

1. Ненахов В.М. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива). [Текст] / В.М. Ненахов, А.А. Щипанский. – М.: Геократгеос. – 2007. – 284 с.
2. Карта структурного районирования докембрия юго-западной части Восточно-Европейской платформы. М: 1:1000000 / Ред. Л. С. Галецкий // [Комплект карт] "Геология и металлогения юго-западной части Восточно-Европейской платформы" М: 1:1000000 / Гл. ред. А. Зарицкий. – К: Госкомгеология, Геопрогноз, Центрреология, ПО "Беларусь", ВСЕГЕИ, Воронежский госуниверситет. – 1992. – 6 л.
3. Геологическая история территории Украины. Палеозой. [Текст] / Отв. Ред. П. Цегельнюк. – К.: Наукова думка. – 1993. – 199 с.
4. Горайнов С.В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины [Текст] / С.В. Горайнов // Доповіді НАН України. – 1999. – № 8. – С. 106–111.
5. Горайнов С.В. О ларамийском усложнении геологических структур Украины [Текст] / С.В. Горайнов // Доповіді НАН України. – 2004. – № 12. – С. 114–121.
6. Гончар В.В. Тектоническая инверсия Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса (модели и реконструкции) [Текст] / В.В. Гончар // Геофизический журнал. – 2019. – Т. 41. – № 5. – С. 47–86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.184444>
7. Бартацук О.В. Горизонтальні переміщення геомасивів у континентальних рифтогенних геоструктурах (на прикладі Дніпровського-Донецького палеорифта). Частина 3. Системна організація пострифтових реїдних деформацій [Текст] / О.В. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 51. – Х.: ХНУ, 2019. – С. 26–40. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-02>
8. Бартацук О.В. Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини. Частина 1. Колізійна тектоніка Західно-Донецького грабена [Текст] / О.В. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 52. – Х.: ХНУ, 2020, 10–23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-01>
9. Горайнов С. Прогноз локалізації та газонасності літологічних пасток південного сходу ДДЗ в межах ліцензійних ділянок ГПУ «Шебелинкагазвидобування». Частина 1. Створення структурно-геологічної основи: звіт про НДР (заключний) [Текст] / С. Горайнов, Ю. Склярченко / Договір №100 ШГВ 2017–2017 (тема № 34.521/2017–2017). – Х.: УкрНДІГаз. – 2017. – 203 с.
10. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 [Комплект карт] / Гол. ред. С.С. Круглов, Д.С. Гурський. – К.: Мін. Охорони прир. серед. України, Держ. геол. служба України. – 2007. – 4 аркуші.
11. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. / Ред. П. Гожик. – Київ : ІГН НАН України. – Логос. – 2013. – 637 с.

12. Гончар В. Формирование и осадочное заполнение Днепровско–Донецкой впадины (геодинамика и фации) в свете новых данных палеотектонического моделирования [Текст] / Геофизический журнал. – 2018. – Т. 40. – № 2. – С. 67–94. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128931>
13. Геология и нефтегазоносность Днепровско–Донецкой впадины. Стратиграфия. [Текст] / Отв. ред. Д. Айзенберг. – К.: Наук. думка. – 1988. – 148 с.
14. Хаин В. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия [Текст] / В. Хаин. – М.: Недра. – 1976. – С. 185–205.
15. Зоненшайн Л. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн.1. [Текст] / Л. Зоненшайн, М. Кузьмин, Л. Натанов. – М.: Недра. – 1990. – 328 с.
16. Стовба С. Сравнительный анализ строения и истории формирования юго–восточной части Днепровско–Донецкой впадины и Донецкого складчатого сооружения [Текст] / С. Стовба, Р. Стифенсон // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22. – № 4. – С. 37–61.
17. Корчемагин В. Тектоника и поля напряжений Донбасса. Поля напряжений и деформаций в земной коре [Текст] / В. Корчемагин, Ю. Рябоштан. – М.: Наука. – 1987. – С. 164–170.
18. Анциферов А. Газоносность угольных месторождений Донбасса [Текст] / А. Анциферов., М. Туркель, М. Хохлов и др. – К.: Наук. Думка. – 2004. – 229 с.
19. Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины [Текст] / О. Б. Гинтов. – К.: Феникс, 2005. – 572 с.
20. Копп М. Кайнозойские поля напряжений/деформаций Донбасса и их вероятные источники [Текст] / М. Копп, В. Корчемагин // Геодинаміка, 2010. – Вип. 1 (9). – С. 17–48. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.037>
21. Копп М., Колесниченко А., Мострюков А., Васильев Н. Реконструкция кайнозойских напряжений/деформаций востока Русской плиты и пути ее применения для решения региональных и прикладных задач [Текст] / М. Копп, А. Колесниченко, Н. Васильев // Геодинаміка, 2017, Вип. 2 (23) – С. 46–66. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.046>
22. Ребецкий Ю. Обзор методов реконструкции тектонических напряжений и приращений сейсмостектонических деформаций [Текст] / Ю. Ребецкий // Тектоника сегодня. – М.: ОИФЗ РАН. – 2002. – С. 227–243.
23. Геологічна карта докайнозойських утворень України. Масштаб 1:1000000. [Карта] / Отв. ред. В. Калінін. – К: Мін. Охорони прир. серед. України, Держ. геол. служба України. 2007. – 1 аркуш.
24. Дудник В. Киммерийское поле напряжений в пределах Ольховатско–Волынцевской антиклинали Донбасса, его связь с разрывными структурами и магматизмом [Текст] / В. Дудник, В. Корчемагин // Геофизический журнал. – 2004. – Т. 26. – № 4. – С. 75–84.
25. Гзовский М. Основы тектонофизики [Текст] / М. Гзовский. – М.: Наука. – 1975. – 536 с.
26. Копп М. Структурные рисунки, связанные с продольными перемещениями внутри складчатых поясов (на примере Средиземноморско–Гималайского пояса) [Текст] / М. Копп // Геотектоника. – 1991. – № 1. – С. 21–36.

UDC 551.24.548:242.7:248(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Leading Researcher, Department of Natural Gas Resources,  
Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

## TECTONIC INVERSION OF THE DNIEPER–DONETSK BASIN. PART 2. GEODYNAMIC SITUATIONS AND KINEMATIC MECHANISM OF RIFTOGENIC STRUCTURE DEFORMATIONS

**Formulation of the problem.** In the second part of the article, the geodynamic mode and the kinematic mechanism of destruction of the Dnieper–Donetsk Basin by tectonic movements of the Late Hercynian and Alpine stages of tectogenesis were studied. New results of tectonophysical studies of the structural–kinematic evolution of the Earth's crust of Dnieper–Donetsk Basin at the collision stage are presented. The subject of research is a complex of deformation structures that complicate the sedimentary cover in the transitional zone of with Donetsk Foldbelt.

**Review of previous publications and studies.** Using instrumental definitions of tectonite vergence, data of reconstruction of stress fields and quantitative modeling of deformations, a original kinematic model of tectonic inversion of the Dnieper–Donetsk Basin was developed.

**Methods.** Structural–kinematic analysis of the structural drawings of collisional deformation and tectonics structures was used for regional geotectonic studies.

**Results.** Tectonic inversion of the Dnieper–Donetsk Basin and Donbass began at the Late Hercynian epoch as a result of collisional movements of the compression orogen on the outskirts of the Paleotethis.

Tangential compression of the southwestern direction led to the formation of gentle tectonic faults in the sedimentary cover of the Western Donets Graben, along which a lattice of thrust faults was formed. For a set of extrusion of sedimentary rocks in the reverse–thrust mode from the axial super-compressed zone, tectonic transport of geomas took place in the direction of the zones of "geodynamic shadow" on the southern side. Collisional deformations of horizons by the mechanism of longitudinal bending of the layers caused the formation of linear uplift-folding in the northern part of the Graben, and echelons of scaly thrust covers in the southern. At the Mesozoic and Cenozoic epochs, in the mode of interference of the reverse–thrust and horizontal-strike-slip fields, the Hercynian thrust lattice and the near-fault uplift folds underwent collisional deformation with the formation of coulisse–jointed folded zones and echeloned thrust covers. Based on the kinematic model of tectonic inversion of the Western Donets Graben, the geodynamics of the formation of the transition zone between the Dnieper–Donets Basin and the Donetsk Foldbelt is reconstructed. These data are the basis for adjusting the regional schemes of tectonic and oil and gas geological zoning.

**Scientific novelty and practical significance.** The grouping of the compression axes in the western part of the Donbass caused the formation of a gorst-like geoblock-stamp, under the pressure of which the dislocated geomasses were thrusting onto the synclisic cover of the southeastern segment of the depression. In the Western Donetsk Graben, the allochthonous stratum formed the body of the tectonic wedging geomas segment. Along the main strike–slip faults, which form the "tectonic rails" of the invasion, geodynamic zones of displacement of geomas were formed, composed of en-echelon articulated upthrust-folds. In its foreland, at the ends of the main strike–slip faults, an advanced scaly compression fan was formed, and in the hinterland, folded sutures were formed on the roots of the thrust covers. The main result of the research is a fundamentally new kinematic model of tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk Basin. The model provides that the deformations of the riftogenic structure within the Graben were carried out according to the kinematic mechanism of the formation of a transverse orocline protruding under the pressure of the tectonic geoblock-stamp of the Donetsk Foldbelt.

**Keywords:** geodynamic regimes, kinematic mechanism, wedging segment, protruding orocline, tectonic stamp of the Donetsk Foldbelt.

#### **References**

1. Nenakhov, V.M., Shchipansky, A.A. (2007). *Mineragenic studies of territories with a two-tiered structure (on the example of the Voronezh crystalline massif)*. Moscow, Russia, *Geokratgeos*, 284.
2. Zaritskiy, A. ed. (1992). *Map of the structural zoning of the Precambrian of the southwestern part of the East European Platform. M: 1: 1000000. "Geology and metallogeny of the southwestern part of the East European platform" 1: 1000000*. Kiyv, *Goskomgeologiya, Geoprognosis, Centrgeology, PO "Belarus", VSEGEI, Voronezh State University*, 6.
3. Tsegelnyuk, P. ed. (1993). *Geological history of the territory of Ukraine. Paleozoic*. Kiyv, *Naukova Dumka*, 199.
4. Goryaynov, S.V. (1999). *About the Alpine complication of the geological structure in different regions of Ukraine. Rept of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 8, 106-111.
5. Goryaynov, S.V. (2004). *About Laramian complication of geological structures of Ukraine. Rept of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 114-121.
6. Gonchar, V.V. (2019). *Tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk depression and Donbass (models and reconstructions)*. *Geophysical journal*, 41(5), 47-86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.184444>
7. Bartashchuk, O.V. (2019). *Horizontal displacement of geomassives nearcontinental riftogenic geostructures (for example of the Dnieper-Donetsk paleorift). Part 3. Systemic organization of postrift reid deformations*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 51, 26-40. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-02>
8. Bartashchuk, O.V. (2020). *Tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk Basin. Part 1. Collisional tectonics of the Western-Donetsk Graben*. B *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 52, 10-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-01>
9. *Forecast of localization and gas content of lithological pastes from the outbreak of the DDB in the boundaries of licensed sites of the "Shebelinkagazvidobuvannya" State Enterprise. Part 1. Structure of the structural and geological basis [Report on implementation of research works for 2017 (34.521/2017-2017)]*, Kharkiv, *UkrNDIGaz*, 203.
10. Kruglov, S.S., Gurskiy, D.S. ed. (2007). *Tectonic map of Ukraine. Scale 1: 1,000,000*. Kiyv, *Ministry of protect nature and Environment of Ukraine, State Geol. Service of Ukraine*, 4.
11. Gozhik, P. ed. (2013). *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine*. Kiev, *Logos*, 637.
12. Gonchar, V.V. (2018). *Formation and sedimentary filling of the Dnieper-Donetsk depression (geodynamics and facies) in the light of new data of paleotectonic modeling*. *Geophysical journal*, 40(2), 67-94. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128931>
13. Eisenweg, D. ed. (1988). *Geology and oil and gas content of the Dnieper-Donetsk Basin. Stratigraphy*. Kiyv, *Nauk. Dumka*, 148.
14. Khain, V. (1976). *Regional geotectonics. Extra-Alpine Europe and Western Asia*. Moscow, *Nedra*, 185-205.

15. Zonenshain, L., Kuzmin, M., Natapov, L. (1990). *Tectonics of lithospheric plates in the USSR. Book 1. Moscow: Nedra*, 328.
16. Stovba, S., Stephenson, (2000). R. *Comparative analysis of the structure and history of the formation of the south-eastern part of the Dnieper-Donetsk Basin and the Donetsk storage facility. Geophysical Journal*, 22(4), 37-61.
17. Korchemagin, V., Ryaboshan, Yu. (1987). *Tectonics and stress fields of Donbass. Fields of stresses and deformations in the earth's crust. Moscow, Nauka*, 164-170.
18. Antsiferov, A., Tirkel, M., Khokhlov, M. et al. (2004). *Gas content of coal deposits in Donbass. Kiyv, Nauk. Dumka*, 229.
19. Gintov, O.B. (2005). *Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the earth's crust of Ukraine. Kiyv, Phoenix*, 572.
20. Kopp, M., Korchemagin, V. (2010). *Cenozoic stress / strain fields of Donbass and their probable sources*, 1 (9), 17-48. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.037>
21. Kopp, M., Kolesnichenko, A., Mostryukov, A., Vasiliev, N. (2017). *Reconstruction of Cenozoic stresses / deformations of the east of the Russian plate and the ways of its application for solving regional and applied problems. Geodynamika*, 2(23), 46-66. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.046>
22. Rebetskiy, Yu. (2002). *Review of methods for reconstruction of tectonic stresses and increments of seismotectonic deformations. Tectonics today. Moscow, OIFZ RAN*, 227-243.
23. Kalinin, V. Resp. ed. (2007). *Geological map of pre-Cenozoic statements of Ukraine. Scale 1: 1,000,000. Kiyv, Ministry of protect nature and Environment of Ukraine, State Geol. Service of Ukraine*, 1.
24. Dudnik, V., Korchemagin, V. (2004). *Cimmerian stress field within the Olkhovatsko-Volyntsevskaya anticline of Donbass, its relationship with rupture structures and magmatism. Geophysical Journal*, 26(40), 75-84.
25. Gzovsky, M. (1975). *Fundamentals of tectonophysics. Moscow, Nauka*, 536.
26. Kopp, M. (1991). *Structural patterns associated with longitudinal displacements within the fold belts (for example of the Mediterranean-Himalayan Belt). Geotectonics*, 1, 21-36.



**Олександр Сергійович Бончковський,**  
аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська 64/13, Київ, 01601, Україна,  
[geobos2013@gmail.com](mailto:geobos2013@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1872-4552>

## СМИКІВ – НОВИЙ ОПОРНИЙ РОЗРІЗ ВЕРХНЬОГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНУ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ

Комплексно досліджено новий розріз лесово-грунтових відкладів верхнього неоплейстоцену Волинської височини (біля с. Смиків Рівненської області на схилі долини р. Дежа). Із аналітичних досліджень проведено вивчення гранулометричного складу і міроморфологічної будови усіх лесових і ґрунтових кліматолітів, на основі чого реконструйовано особливості палеопедогенезу та осадкоутворення і обґрунтовано короткоперіодичну етапність їхнього розвитку. В основі розрізу залягає перигляціальний алювій дніпровського кліматоліту із системою синседиментних інволюційних деформацій. Вивчення покривних кайдацького та прилуцького кліматолітів дозволило виділити по три стадії ґрунтоутворення у час формування відповідних ґрунтових світів. Встановлено, що у формуванні лесових кліматолітів розрізу певну роль відігравали процеси педогенезу, зокрема гумусонакопичення і біогенна агрегація. За результатами гранулометричного аналізу виділено фази найбільшої інтенсивності ерозійних процесів упродовж кайдацького і прилуцького етапів. Виділено три стадії активізації соліфлюкційно-ерозійних процесів упродовж холодних етапів: бугського, удайського, а також середньоприлуцького підетапу. Найвищий вміст карбонатів кальцію встановлено у верхніх лесових кліматолітах і дофінівському ґрунті (в останньому у борошністих формах). Тут карбонати могли утворитися у результаті дії процесів криогенезу. За результатами дослідження палеомерзлотних утворень виділено 7 рівнів криогенезу, представлених різногенетичними формами. Реконструйовано палеогеокриологічні умови утворення мерзлотних структур: в умовах глибокого сезонного промерзання у середньоприлуцькій підетапі, дискретної криолітозони в удайській етапі і континуальної криолітозони в бугській і причорноморській етапах.

**Ключові слова:** лесово-грунтова формація, ґрунтова світа, гранулометричний аналіз, міроморфологічна будова, рівень криогенезу, короткоперіодична етапність.

**А. С. Бончковский. СМЫКОВ – НОВЫЙ ОПОРНЫЙ РАЗРЕЗ ВЕРХНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА ВОЛЫНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ.** Комплексно исследован новый разрез лесово-почвенных отложений верхнего неоплейстоцена Волынской возвышенности (возле с. Смыков Ровенской области, на склоне долины р. Дежа). Выполненные аналитические исследования включали изучение гранулометрического состава и микроморфологического строения всех лесовых и почвенных климатолитов, что способствовало реконструкции особенностей палеопедогенеза и осадкообразования, а также обоснованию короткопериодической этапности их развития. В основе разреза залегает фация перигляциального аллювия днепро-ского климатолита, с системой синседиментных инволюционных деформаций. Изучение кайдацкого и прилуцкого климатолитов, перекрывающих аллювий, позволило установить по три стадии почвообразования в развитии соответствующих почвенных светов. Установлено, что в формировании лесовых климатолитов разреза определенную роль играли процессы педогенеза, в частности гумусонакопление и биогенная агрегация. Результаты гранулометрического анализа позволили выделить фазы наибольшей интенсивности эрозийных процессов в течение кайдацкого и прилуцкого этапов, являющиеся типичными для Волынской возвышенности в целом. Установлены три стадии активизации солифлюкционно-эрозийных процессов в течение холодных бугского и удайского этапов, а также среднеприлуцкого подэтапа. Высокое содержание карбонатов кальция установлено в верхних бугском и причерноморском лесовых климатолитах и в дофоновской почве (в ней карбонаты в мучнистой форме). Вероятно, они образовались вследствие воздействия процессов криогенеза. Результаты исследования палеомерзлотных образований позволили выделить 7 уровней криогенеза, представленных разнообразными формами. Реконструированы палеогеокриологические условия образования мерзлотных структур: в условиях глубокого сезонного промерзания в среднеприлуцком подэтапе, дискретной криолитозоны в удайском этапе и континуальной криолитозоны в течение бугского и причерноморского этапов.

**Ключевые слова:** лесово-почвенная формація, почвенная світа, гранулометрический аналіз, микроморфологическое строение, уровень криогенеза, короткопериодическая этапность.

**Постановка проблеми.** Лесово-грунтова формація утворює на Волинській височині майже суцільний покрив потужністю 10-20 м (відсутня лише на ділянках із найвищими абсолютними висотами і на формах рельєфу, утворених у голоцені). На території Волинської височини представлено переважно верхньонеоплейстоценові кліматоліти, а відклади середнього і раннього неоплейстоцену у зв'язку із активними неотектонічними підняттями практично повсюдно розмиті. У порівнянні з іншими регіонами України, леси Волинської височини мають специфічні ознаки: вони значно сильніше деформовані соліфлюкційними текстурами і потужними псевдоморфозами за повторно-жильним льодом, мають виразні ознаки оглеєння, менш карбонатні тощо.

Викопні ґрунти на Волині переважно представлені відмінами із текстурною диференціацією їхнього генетичного профілю та із помітними ознаками гідроморфізму. Особливості лесово-грунтової формації Волинської височини ускладнюють кореляцію розрізів цього району із розрізами центральної і південної України. Як наслідок, мають місце різні погляди щодо положення окремих кліматолітів у стратиграфічних схемах неоплейстоцену України [8, 16, 20, 36, 56, 57].

Незважаючи на те, що лесово-грунтова формація Волинської височини у головних рисах досліджена досить добре, питання детальної стратифікації її утворень, і, відповідно, короткоперіодичної палеогеографічної етапності досі остаточно не вирішені. Останнім часом викопні

грунти у кількох розрізах Волино-Подільської височини було вивчено з точки зору стадійності їхнього формування [7, 48, 54, 55], однак отримані матеріали все ж є фрагментарними для обґрунтування детальної схеми короткоперіодичної палеогеографічної етапності регіону. Пошук детально стратифікованих розрізів і їхнє вивчення комплексом геологічних і палеогеографічних методів залишаються актуальними завданнями. У розрізі Смиків, представленому у цій статті, прилуцький і кайдацький кліматоліти включають серії окремих ґрунтів і педоседиментів, відокремлених один від одного рівнями криогенезу. Це доводить самостійність формування ґрунтових утворень різних стадій і підстадій педогенезу і визначає значимість розрізу Смиків для подальшої розробки схеми короткоперіодичної палеогеографічної етапності Волинської височини.

#### **Результати попередніх досліджень.**

Циклічна будова субаеральних четвертинних відкладів Волинської височини привернула увагу науковців понад 100 років тому (М. Барбот де Марні, В. Ласкарєв, А. Красюк та ін.), однак комплексні дослідження лесово-ґрунтової формації Волинської височини розпочалися лише у 70-х рр. ХХ ст. У цей час на основі вивчення опорних розрізів Волині та Поділля А. Богуцький (фундатор львівської палеогеографічної школи) розробив регіональну стратиграфічну схему [5] і схему палеокріогенних етапів [6], які зараз використовують для стратифікації лесово-ґрунтових розрізів Західної України. У 70-80-х рр. розпочалося комплексне вивчення лесово-ґрунтових розрізів Волинської височини такими методами як палеокріологічний (А. Богуцький, В. Нечаєв, А. Величко [4, 6]), палеопедологічний (О. Цацкін, Т. Морозова [32, 41]), палінологічний (Л. Безусько, О. Артюшенко, Р. Арап [1, 2]), інженерно-геологічний (П. Волошин [18]) та ін.

Завдяки співпраці вчених Львівського національного університету імені Івана Франка із дослідниками Польщі та НАН України в останні десятиріччя, залучення широкого спектру методів до вивчення лесово-ґрунтової формації Волинської височини дозволило деталізувати регіональну стратиграфічну схему та виконати палеогеографічні реконструкції для певних етапів. Детально комплексом геологічних і палеогеографічних методів було вивчено опорні розрізи Коршів та Бояничі [48, 53]; виконано дослідження палеогеографічних умов формування коршівських ґрунтів за їх мікроморфологією [34]; реконструйовано палеогеографічні умови плейстоценових етапів на основі малакофауністичних досліджень [24]; вивчено особливості палеокріогенних структур та реконструйовані геокріологічні умови [47, 50], досліджено магнітні властивості

плейстоценових порід [23, 58] і реконструйовано напрямок давніх вітрів [59], четвертинні відклади датовано люмінесцентними методами [9, 48, 53], визначено стратиграфічну позицію культурних шарів палеоліту і реконструйовано умови проживання давньої людини [9, 37].

**Матеріали та методи.** Розріз Смиків (25°08'Е, 50°28'N) знаходиться на північно-західній окраїні с. Смиків Рівненської області (40 км на південь від м. Луцьк), у місцевому кар'єрі. Розріз розташований у прибортовій частині долини р. Дежа – правої притоки р. Стир, довжиною 10 км (рис. 1). Абсолютна висота найвищої частини кар'єру складає 209 м. У розрізі відслонюються кліматоліти верхнього і частково середнього неоплейстоцену.

Будова річкової долини Дежі проста і включає заболочену заплаву (зараз зарегульовану ставками), шириною 200-400 м, і фрагменти морфологічно 1-ої надзаплавної тераси, шириною 100-300 м, із перевищенням над заплавою 2-4 м. Нижче за течією вона чітко виражена, а у долині р. Стир поступово переходить на рівень витачівсько-бузької надзаплавної тераси. Балкові системи у басейні річки подекуди також терасовані, а у гирлах утворюють широкі конуси виносу.

Клімат досліджуваної території відносять до помірного, перехідного від вологого до континентального. На метеостанції у м. Луцьк (40 км на пн. від розрізу Смиків) середньорічна температура складає +7,7°C, січня -4,0°C, липня +18,8°C, кількість опадів – 560 мм. У ґрунтовому покриві домінують сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти, чорноземи опідзолені та типові. Рослинний покрив представлений переважно агроценозами і лучним різнотрав'ям на місці сільськогосподарських угідь. Природна рослинність збереглася локально і представлена дубово-грабовими лісами на лесових плато і лучно-степовими асоціаціями на схилах долин і балок [22, 30].

Лесово-ґрунтові відклади опорного розрізу Смиків досліджено у 4 розчистках, закладених на різних елементах експонованого та похованого рельєфу. Виконано гранулометричний аналіз відкладів усіх кліматолітів верхнього неоплейстоцену (рис. 3): піщаних фракцій за допомогою ситового методу, тонкодисперсних фракцій – за методом «піпетки» [27]. Вміст карбонатів визначено за методом М. Качинського [27]. Виконано мікроморфологічний аналіз усіх ґрунтових і лесових кліматолітів верхнього неоплейстоцену. При цьому, за основу прийнято методики українських [25, 26, 31, 36] та зарубіжних мікроморфологів [19, 21, 35, 60].

**Формулювання мети роботи.** Результати комплексних геологічних і палеогеографічних досліджень на новому детально стратифікованому-

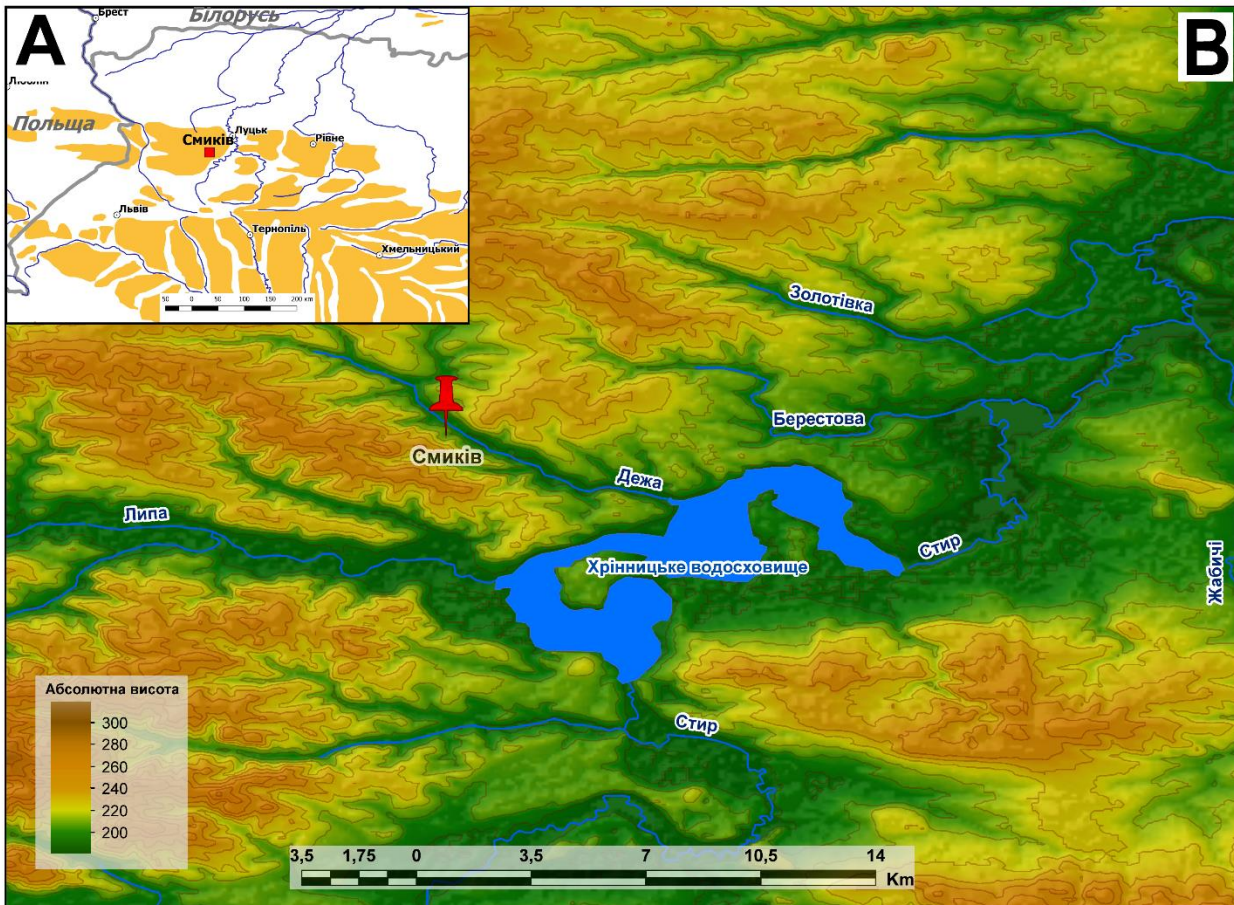


Рис. 1. Картосхема розміщення розрізу

му розрізі Волинської височини Смиків отримані з метою розробки і вдосконалення регіональної схеми короткоперіодичної палеогеографічної етапності. Ці дослідження є суттєвим доповненням до раніше отриманих результатів на розрізах Волинської височини [10-14, 46] і слугуватимуть для підтвердження простежених там закономірностей.

#### Результати досліджень.

#### Макроморфологічні особливості лесово-грунтової формації.

**Голоценовий (h1) кліматоліт** – *чорнозем типовий змитий* – 0,0-0,6 м. Включає генетичні горизонти Н і НРк.

*Н* – 0,0-0,3 м. Темно-сірий (N 4/0), крупнопиловато-легкосуглинковий, слабоущільнений, із зернисто-дрібногрудкуватою структурою.

*НРк* – 0,3-0,6 м. Палево-бурувато-сірий (10YR 6/2), крупнопиловато-середньосуглинковий, слабоущільнений, із грудкуватою структурою, борошністими карбонатами і численними біотурбаціями. Нижня межа нечітка.

У ґрунті високим є вміст фракції крупного пілу (57,5-59,3%) і відносно значний – мулу (18,0-19,9%). У горизонті НРк з'являється дрібний пісок (11,5%).

**Причорноморський (рс) кліматоліт** – 0,6-1,2 м

(рис. 2А). Лес типовий, палевий (10YR 8/1), пилувато-середньосуглинковий, середньоущільнений, макропористий, карбонатний (борошно, псевдоміцелій, білозірка, невеликі дутики (до 2 см у діаметрі). Присутні новоутворення мангану (негуста, дрібна штриховка) і заліза (поодинокі мікроортштейни). Дуже багато голоценових біотурбацій. Нижня межа слабохвиляста, перехід до низу ясний. У горизонті дещо зростає вміст мулу (20,7%) і дрібного піску (26,1%), знижується вміст крупного пілу (45,5%). Вміст карбонатів є максимальним (18,8%) біля верхньої межі шару (до низу їхній вміст дещо знижується –13,3%).

Вниз за схилом (розчистка №4) у верхній частині причорноморського кліматоліту спостерігається горизонт оглеєння потужністю 0,5 м. Вірогідно, він є корелянтом красилівського підгоризонту схеми А. Богуцького [5, 45].

**Дофінівський кліматоліт (df)** – *палево-бурий карбонатний ґрунт* – 1,2-1,5 м (Рис. 2А). Палево-бурий із червонуватим відтінком (5YR 7/4) у гор. *Нрк(gl)* та із сизуватим відтінком (10YR 7/1) у гор. *НPGLk*, крупнопиловато-середньосуглинковий, середньоущільнений. У ґрунті багато карбонатів (10,4-12,9%) у вигляді борошна і псевдоміцелію. У нижній частині ґрунту присутні крупні плями оглеєння із плівками озалізнєння.

Нижня межа слабохвиляста. До низу ґрунту зростає вміст мулу (від 25,2% до 33,4%) і крупного

пилу (від 53,7% до 58,4%). Фракція дрібного піску майже зникає.

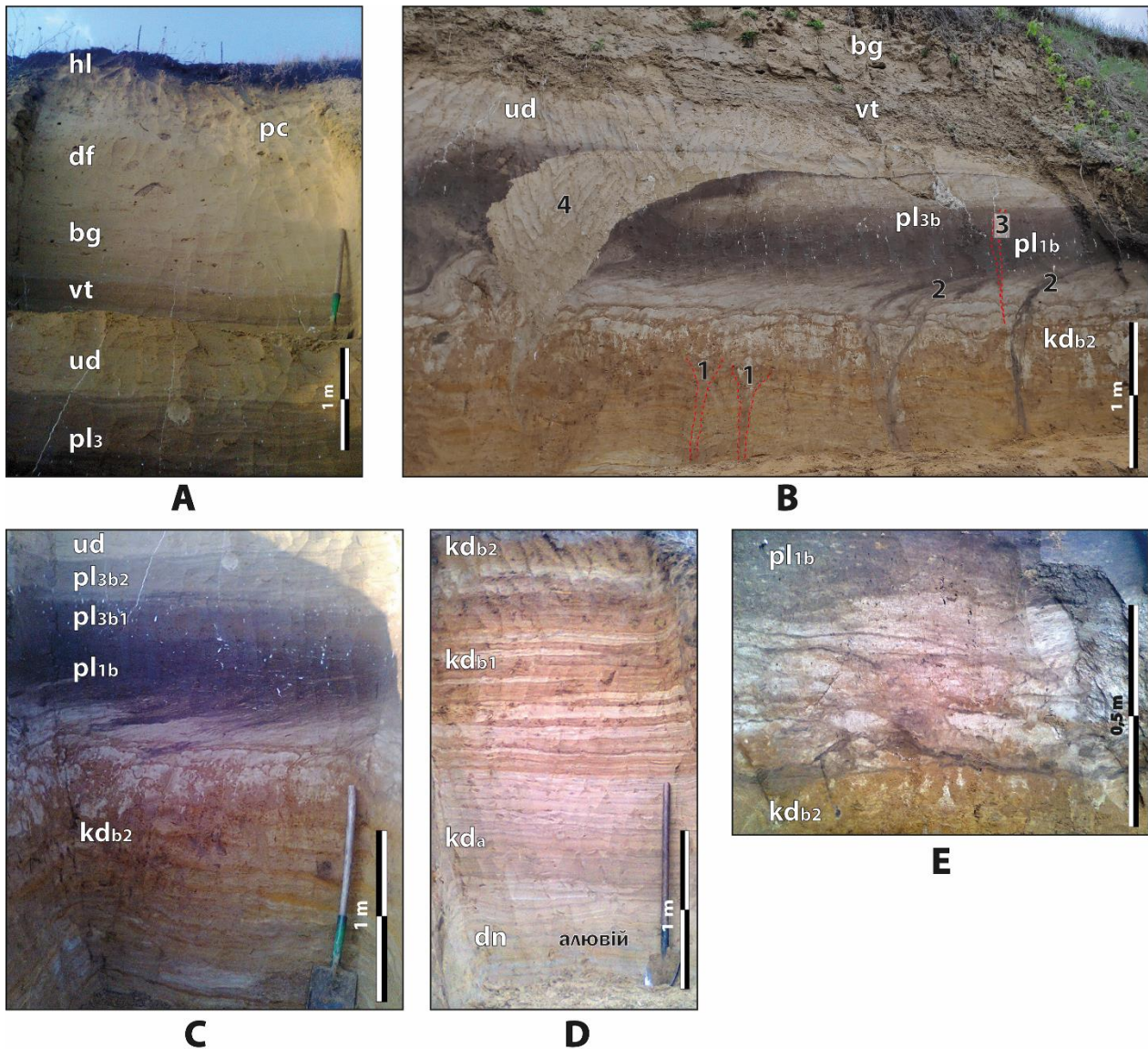


Рис. 2. Розріз Смиків: **А** – відклади пленігліціалу у розчистці №1; **В** – кайдацько-прилуцька ґрунтова світа у розчистці №3: 1 – дрібні первинно-ґрунтові жили тясминського кріоетапу; 2 – вигнуті соліфлюкцією первинно-ґрунтові жили кріоетапу pl<sub>2</sub>; 3 – дрібні первинно-ґрунтові жили удайського кріоетапу; 4 – псевдоморфоза за повторно-жальним льодом удайського кріоетапу; **С** – кайдацько-прилуцька ґрунтова світа у розчистці №1; **Д** – нижня частина кайдацьких педоседиментів та алювіальні відклади у розчистці №2; **Е** – шлірова посткріогенна текстура, ймовірно, удайського кріоетапу

**Бузький кліматоліт (bg).** Включає два субкліматоліти: верхній – лесовий, і нижній – соліфлюкційний (Рис. 2А).

**Лесовий субкліматоліт (bg<sub>2</sub>)** – 1,5-2,3 м (або 2,1-2,5 м). Сірувато-палевий (7.5YR 8/1), крупнопилувато-легкосуглинковий, середньоущільнений. Карбонати (8,9%) представлені борошном, псевдоміцелієм, дутиками (до 5 см у діаметрі). Біля покрівлі є поодинокі плями оглеєння, вохристі плями озалізнєння і мікроортштейни. Нижня межа хвиляста, перехід до низу ясний.

**Горизонт соліфлюкції (bg<sub>1</sub>)** – 2,3-2,6 (до 2,7) м. Перешарування сизувато-палевого (7.5YR 8/2)

лесового і світло-бурого (10YR 7/4) ґрунтового матеріалу, крупнопилувато-середньосуглинкового, слабоущільненого, із високим вмістом карбонатів (10,3%) у вигляді трубочок, борошна, поодиноких дутиків (до 4 см у діаметрі). Із середини та кривлі горизонту відкриваються тріщини усихання (до 0,7 м у глибину) і псевдоморфози карбонатів за давніми коренями. Нижня межа хвиляста.

Кліматоліт відзначається високим вмістом фракції крупного пилу (53,5-54,3%) і підвищеним вмістом мулу (18,2-20,3%). У підгоризонті соліфлюкції з'являється дрібний пісок.

**Витачівський кліматоліт** – *педоседимент бурого глейового ґрунту* – 2,6-3,0 м (Рис. 2А). Під-розділяється на три частини. Верхня представлена оглеєним, сизувато-сірим (N 8/0) середнім суглинком, соліфлюкційно зміщеним, із хвилястою мікрошаруватістю; вище за схилом зникає. *Середня частина* являє собою світло-бурий (7.5YR 7/2) матеріал із лінзами гумусу; *нижня* – сизувато-сірий (10YR 5/1), інтенсивно гумусований суглинок. У цілому кліматоліт крупнопилувато-середньосуглинковий, дуже щільний, із дещо меншою кількістю карбонатів (4,4%), ніж у покривному кліматоліті, у вигляді псевдоморфоз за давніми коренями, точок, борошна і поодиноких дутиків (до 4 см у діаметрі). Нижня межа рівна, перехід до низу різкий. У горизонті зростає вміст крупного пилу (71,5%) і мулу (21,8%). Дрібний пісок майже зникає.

**Удайський кліматоліт (ud)**. Включає два субкліматоліти: верхній – лесовий, і нижній – соліфлюкційний (Рис. 2В, 2С).

*Лесовий субкліматоліт (ud<sub>2</sub>)* – 3,0-3,5 м. Світло-бурий (10YR 8/3), крупнопилувато-легкосуглинковий, щільний, із високим вмістом карбонатів (8,3%): псевдоморфози за давніми коренями, білозірка, трубочки і зцементовані осередки. У горизонті багато новоутворень мангану (примазки, плями), менше – заліза (мікроортштейни і пунктація). Нижня межа хвиляста, соліфлюкційна.

*Горизонт соліфлюкції (ud<sub>1</sub>)* – 3,5-3,8 м. Мікрошаруватий світло-бурий (7.5YR 7/2) лесовий матеріал і бурий (7.5YR 7/1) ґрунтовий, який у напрямку падіння схилу переходить у яскраво виражені соліфлюкційні язички. Складений пилувато-супіщаним матеріалом, із неміцною плитчастою окремістю. Вміст карбонатів знижується (4,3%). Карбонати представлені псевдоморфозами за давніми коренями, білозірками, трубочками і зцементованими осередками. Практично зникають новоутворення мангану, натомість значно зростає кількість гідроксидів заліза (прошарки, лінзи, мікроортштейни). Від кривлі шару відкривається псевдоморфоза за повторно-жильним льодом (Рис. 2В), а із підшви – невеличкі первинно-ґрунтові жили. Нижня межа рівна, ерозійна.

До низу у кліматоліті зменшується вміст фракції крупного пилу (від 57,2% до 43,6%) і мулу (від 18,4% до 2,1%). Окрім цього, у підгоризонті соліфлюкції з'являється піщана фракція (30,6%).

**Прилуцький кліматоліт (pl)** – 3,8-4,6 м. Представлений чорноземоподібним ґрунтом, який, виходячи із морфогенетичних ознак, найвірогідніше утворився упродовж трьох стадій педогенезу, умовно визначених як стадії “pl<sub>a</sub>”,

“pl<sub>b</sub>”, “pl<sub>c</sub>”.

*Дерново-карбонатний ґрунт (pl<sub>c</sub>)* – 3,8-4,05 м (Рис. 2С). Представлений в основному педоседиментом, однак подекуди переходить у ґрунт, профіль якого диференційований на генетичні горизонти: Hk(gl) і HPk.

*Hk(gl)* – 3,8-3,9 м. Коричнювато-бурий (10YR 6/1), піщано-легкосуглинковий, дуже щільний, оглеєний, із неміцною плитчастою (кріогенною) окремістю і плікативними соліфлюкційними деформаціями. Вміст карбонатів кальцію знижується до 2,6%. У горизонті багато новоутворень мангану (точки, штриховка) і заліза (мікроортштейни, пунктація). Зустрічаються поодинокі червоточини. Перехід до низу поступовий.

*HPk* – 3,9-4,05 м. Світло-бурий (7.5YR 7/1), крупнопилувато-легкосуглинковий, щільний, із неповносітчастою посткріогенною текстурою (2x3 см), підкресленою карбонатами кальцію. У горизонті збільшується вміст карбонатів (5,2%), натомість залізо-манганові новоутворення майже зникають. Нижня межа рівна, перехід до низу ясний.

У ґрунті зростає вміст фракції середнього пилу (21,8-24,6%) і мулу (від 11% у гор. Hk(gl) до 18,1% у гор. HPk). У горизонті Hk(gl) високим є вміст піску (43%), тоді як у гор. HPk пісок майже зникає.

*Ініціальний дерново-бурий ґрунт (pl<sub>b</sub>)* – 4,05-4,2 м (Рис. 2В; 2С). Темно-бурий (7.5YR 5/1), піщано-легкосуглинковий, середньоущільнений, із неміцною плитчасто-горіхуватою структурою. Зустрічаються поодинокі вторинні карбонати і палеві плями нез'ясованого генезису (6-7 см у діаметрі). У горизонті зростає кількість залізо-манганових новоутворень. Нижня межа слабохвиляста, перехід до низу поступовий. У ґрунті спостерігається високий вміст піску (46%), у тому числі середньозернистого (12,8%). Вміст мулу знижується (14,6%).

*Чорноземоподібний ґрунт (pl<sub>a</sub>)* – 4,2-4,6 м (Рис. 2В; 2С). Ґрунт деформований соліфлюкційними текстурами і первинно-ґрунтовими жилами, які відкриваються з його покривлі. Це дає підстави вважати, що після ґрунтоутворення мала місце холодна стадія, упродовж якої відбувалися процеси кріогенезу. Ґрунт темно-сірий із буруватим відтінком (7.5YR 3/1), пилувато-супіщаний, із неміцною дрібногрудкуватою структурою і поодинокими вторинними карбонатами. Зустрічаються біотурбації, заповнені світлішим матеріалом. Нижня межа язичувата, соліфлюкційна. У ґрунті зростає вміст фракцій крупного (31,2%) і середнього (31,6%) пилу. Вміст мулу (7,7%) і піску (27,1%) знижується.

**Кайдацький кліматоліт (kd)** – 4,6-6,8 м.

Включає дерново-слабопідзолистий ґрунт і дві пачки педоседиментів, які відображають відмінні умови педогенезу.

*Дерново-слабопідзолистий ґрунт (kd<sub>b2</sub>)* – 4,6-5,2 м (рис. 2В; 2С). Профіль ґрунту диференційований на генетичні горизонти *HEi*, *Elh*, *Ipgl(e)*.

*HEi* – 4,6-4,75 (4,8) м. Світло-сірий (N 7/0), супіщаний, із неміцною плитчастою окремністю, великою кількістю залізо-манганових новоутворень. Зустрічаються поодинокі вторинні карбонати у вигляді псевдоморфоз за давніми коренями і трубочок. Нижня межа хвиляста, перехід до низу ясний.

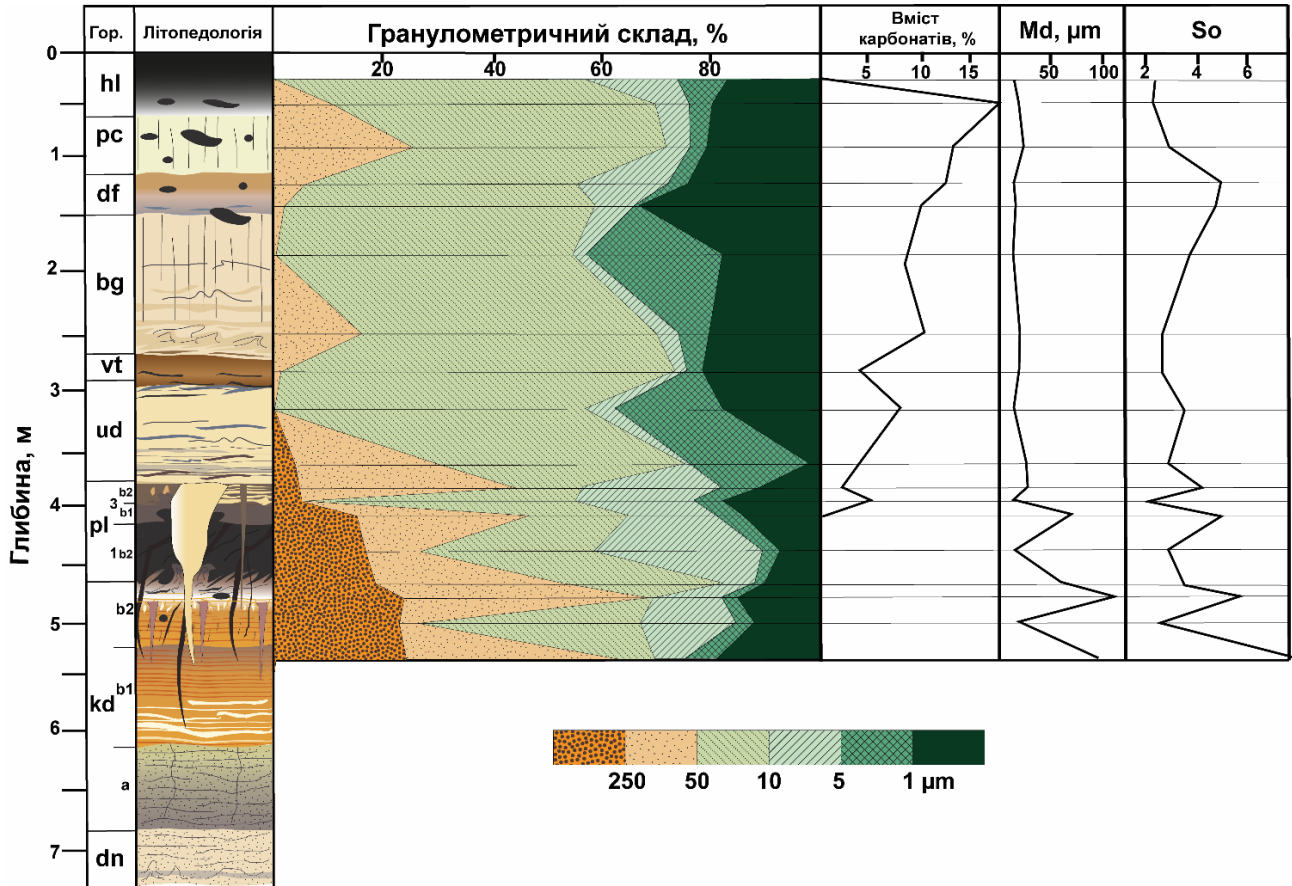


Рис. 3. Гранулометричний склад відкладів розрізу Смиків

*Elh* – 4,8-5,0 (4,9-5,05) м. Горизонт представлений крупними білястими плямами (N 8/0), розділеними зцементованими залізом осередками бурувато-вохристого забарвлення (10YR 7/4). Матеріал піщано-легкосуглинковий із дрібною мангановою штриховкою. Нижня межа затічна.

*Ipgl(e)* – 5,0-5,2 м. Помаранчево-бурий із сіруватим відтінком (10YR 6/2), піщано-легкосуглинковий, із дрібногоріхуватою структурою і великою кількістю вохристих плям озалізнення. За гранями структурних окремоостей спостерігається присипка SiO<sub>2</sub>. У горизонті присутня сітчаста посткриогенна текстура, підкреслена сполуками гумусу. Від кривлі горизонту відкриваються дрібні первинно-ґрунтові жили. Нижня межа затічна, перехід до низу ясний.

Ґрунт відзначається зростанням вмісту мулу від гор. *HEi* (10%) до *Elh* (15,8%). Високою є питома частка піску (від 52,5% у гор. *HEi* до 69,3%

у гор. *Elh*). Вперше у розрізі з'являється грубозернистий пісок.

*Педоседимент лісового ґрунту (kd<sub>b1</sub>)* – 5,2-6,2 м (рис. 2В; 2D). Являє собою *IRPgl* горизонт верхнього кайдацького ґрунту, горизонтально- і хвилясто-шаруватий, оглеєний, дуже щільний, із призматичною структурою, палево-вохристо-світло-бурий (10YR 7/4), піщано-середньосуглинковий, із сітчастою посткриогенною текстурою, підкресленою сполуками заліза. До низу з'являються прошарки і лінзи білястого піщаного матеріалу. Нижня межа слабохвиляста, перехід до низу різкий. У горизонті зростає вміст мулу (19,5%). Питома частка піску залишається дуже високою (63%), зокрема, середньозернистого (19,9%).

*Педоседимент дернового ґрунту (kd<sub>a</sub>)* – 6,2-6,8 м. Горизонтально-шаруватий супісок, світло-бурий (10YR 7/1) зверху і палево-бурувато-сірий (10YR 7/3) знизу, із прошарками середньозерни-

стого білястого піску. Нижня межа хвиляста, перехід до низу ясний.

Дніпровський кліматоліт (dn) – 6,8-11,2 м. Містить чотири підгоризонти (рис. 2D).

*Верхній підгоризонт* – 6,8-8,8 м. Перешарований світло-сірий (10YR 8/2) піщано-легкосуглинковий і вохристий (10YR 7/8), супіщаний, озалізнений матеріал. У верхній частині підгоризонту шаруватість порушена інволюційними процесами. У підгоризонті багато плям озалізнення та оглеєння, зустрічаються поодинокі кільця Лізеганга. Нижня межа хвиляста, перехід до низу ясний.

*Підгоризонт інволюційно деформованих суписків* – 8,8-9,9 м. Плікативно деформований, із системою мікроскидів, оглеєний, пилювато-супіщаний, із дрібними лінзами білястого піску. У підгоризонті багато новоутворень заліза і мангану, які підкреслюють плікативні деформації. Нижня межа слабохвиляста.

*Нижній підгоризонт* – 9,9-10,4 м. Горизонтально-шаруватий, палево-вохристо-сірий (7.5YR 7/1), супіщаний, оглеєний, із прошарками озалізнення та мангановою штриховкою. Горизонт містить слабкі сліди пластичних деформацій. Нижня межа хвиляста, перехід до низу ясний.

*Підгоризонт оглеєння* – 10,4-11,2 м. Інтенсивно деформований інволюціями сизувато-сірий (N 7/0), оглеєний, легкий суглинок, із крупними вохристими плямами і прошарками озалізнення, які підкреслюють плікативні деформації. У верхній частині горизонту зустрічаються густа манганова штриховка і лінзи палевого пилювато-го матеріалу.

**Результати мікроморфологічних досліджень.** Виконано мікроморфологічний аналіз усіх стратиграфічних підрозділів верхнього неоплейстоцену (табл. 1).

Голоценовий кліматоліт. *Чорнозем типовий змитий.* У гор. Н складення губчасте пухке, із ізометричними мікроагрегатами I-III порядків. Зустрічається багато фітолів та екскрементів ґрунтової мікрофауни. Плазма глинисто-гумусова, темно-бура, ізотропна, із поодинокими мікронами збідненими на глинистий матеріал.

Горизонт НРк характеризується губчастим пухким складенням із ізометричними мікроагрегатами I-II порядків, розділеними системою каналоподібних пор. Органічна речовина представлена бурим муллем, який подекуди концентрується у згустках і стягненнях. Плазма коричнево-бура, карбонатно-гумусово-глиниста, переважно ізотропна, з осередками волокнистого, лускуватого та навколопорового оптичного орієнтування. Зустрічаються мікрозони цементації

плазми криптокристалічним кальцитом, дрібні карбонатні нодулі і стягнення мікриту.

Причорноморський кліматоліт характеризується блоковим складенням – блоки різної величини розділені системою широких каналоподібних пор (рис. 4А). Уздовж деяких каналоподібних пор присутні мікрозони збіднені на глину та карбонати, що, ймовірно, обумовлено діагенетичними процесами вилуговування. У плазмі у незначній кількості присутній органічний пігмент, який подекуди сегрегуються у вигляді гумусових згустків та пластівців. Плазма світло-бура, карбонатно-глиниста, ізотропна, зі слабкими слідами волокнистого орієнтування. Крипто- та мікрорісталічний кальцит просочує плазму. Зустрічаються кристали люблініту.

Дофінівський кліматоліт. *Палево-бурий карбонатний ґрунт.* Горизонт Нрк(gl) характеризується чергуванням мікрозон пухкого роздільно-часткового, губчастого пухкого та блокового складення. Зустрічається кластерні угруповання ізометричних та округлих мікроагрегатів I-III порядків (рис. 4В). Ґрунтовий матеріал просочений бурим муллем, який утворює згусткові форми. Плазма коричнево-сірувато-бура, карбонатно-гумусово-глиниста, головню ізотропна, зі слідами роздільно- та перехресно-волокнистого, лускуватого і кільцевого орієнтування. Уздовж деяких каналоподібних пор присутні вузькі смуги збіднені на карбонати і дисперсне залізо. Плазма нерівномірно просочена крипто- і мікрорісталічним кальцитом, однак більшість карбонатів локалізується у вигляді стягнень перекристалізованого кальциту навколо пор або по стінках каналоподібних пор.

Для горизонту НPGLk властиве блокове складення – ґрунтова маса розбита тріщинами усихання на систему крупних блоків у межах яких виявлено згусткові форми накопичення органічної речовини (гумусу типу мулль та модер). Плазма коричнево-світло-бура, гумусово-карбонатно-глиниста, ізотропна, мікрональна за вмістом дисперсного заліза. Кальцит просочує, а подекуди цементує плазму. У горизонті дуже багато стягнень перекристалізованого кальциту (рис. 4С), менше дрібних стягнень мангану та заліза.

Бузький кліматоліт характеризується пухким роздільно-частковим складенням із ознаками мікрошаруватості. Лесовий матеріал пронизаний системою субпаралельних каналоподібних пор. Плазма сірувато-світло-бура, карбонатно-глиниста, ізотропна, з ознаками лускуватої, кільцевої та перехресно-волокнистої форм оптичної орієнтації. Плазма рівномірно просочена крипто- та мікрорісталічним кальцитом, однак зустрічають-

ся також стягнення крупнокристалічного кальциту і нодулі з домішкою гумусу та мангану.

Витачівський кліматоліт. Педоседимент бурого глейового ґрунту характеризується компактним складенням матеріалу, у якому крупні блоки розділені системою широких каналоподібних пор. Ґрунтовий матеріал відносно гумусований. Органічна речовина представлена диспергованим щільно зв'язаним із глиною аморфним гумусом, який подекуди локалізується у пластівчастих та залізо-гумусових стягненнях. Плазма сірувато-бура, карбонатно-гумусово-глиниста, зі слідами оптичної анізотропії у вигляді лускуватого, рідше сітчастого та кільцевого оптичного орієнтування. Уздовж каналоподібних пор присутні мікрозони збіднені на плазму та зони акумуляції плазми (переважно карбонатно-глинистої). Карбонатні новоутворення представлені поодинокими глинисто-карбонатними стягненнями навколо пор та нодулями у плазмі. Значно частіше зустрічаються гумусово-залізо-манганові стягнення (рис. 4D) і залізисті центри.

Удайський кліматоліт характеризується пухким роздільно-частковим складенням з елементами шаруватоподібної текстури, одиничними кластерними угрупованнями ооїдів та біогенних мікроагрегатів. Органічної речовини відносно багато у вигляді згустків аморфного мулевого гумусу у комплексі із гумусом типу модер (рис. 4E). Плазма бурувато-сіра, гумусово-глинисто-карбонатна, ізотропна. Крипто- та мікрোকристалічний кальцит просочує плазму, подекуди цементуючи її. У горизонті багато дрібних карбонатних нодулів, рідше навколопорових стягнень кальциту із домішкою гумусу та глини. Манганові новоутворення представлені дрібними стягненнями.

Прилуцький кліматоліт. Дерново-карбонатний ґрунт (pl<sub>c</sub>). У гор. Нк(gl) округлі крупні прості мікроагрегати (рідше мікроагрегати II порядку) та гострокутні блоки, розділені системою вузьких каналоподібних пор (рис. 4F). Органічна речовина представлена диспергованим муллевим гумусом, щільно зв'язаним із глиною. Плазма сірувато-бура, карбонатно-гумусово-глиниста, ізотропна, із мікрозонами збідненими на тонкодисперсний матеріал. У горизонті багато дрібних стягнень мангану, рідше залізо-манганових нодулів. У великій кількості зустрічаються дрібні новоутворення перекристалізованого кальциту.

Горизонт НРк характеризується блоковим складенням із системою широких каналоподібних пор, які перетинаються під прямим кутом. Такий рисунок порового простору, ймовірно, є результатом палеокріогенних процесів [52]. Уздовж каналоподібних пор зустрічаються залізо-манганово-глинисті гіпокутани. Ґрунтовий мате-

ріал нерівномірно просочений крипто- та мікрোকристалічним кальцитом, рідше люблінітом, утворюючи подекуди карбонатні нодулі (рис. 4G), навколопорові стягнення. Плазма коричнево-бура, карбонатно-гумусово-глиниста, ізотропна. Залізо-манганові новоутворення представлені великою кількістю дрібних стягнень, рідше центрів, мікроортшейнів, нодулів.

Ініціальний дерново-бурий ґрунт (pl<sub>b</sub>) характеризується злитим складенням із системою субпаралельних тріщин усихання, які створюють шаруватоподібний рисунок, що, ймовірно, є результатом діагенетичних кріогенних процесів [51, 63]. У ґрунті зростає кількість окатаних піщаних зерен. Плазма жовтувато-світло-бура, залізо-гумусово-глиниста, ізотропна, із ознаками навколопорової, навколоскелетної, лускуватої та сітчастої оптичної орієнтації (рис. 4H). Зустрічаються поодинокі глинисті папули, походження яких до кінця не є зрозумілим. У плазмі помітнішою стає домішка дисперзованого гумусу. Органічна речовина подекуди сегрегуються у пластівчасті осередки.

Чорноземоподібний ґрунт (pl<sub>a</sub>) частково агрегований в округлі мікроагрегати I-II порядків, які чергуються із дезагрегованими мікрозонами. Мінеральний скелет представлений середньоокатаними піщанками, які утворюють скупчення уздовж каналоподібних пор (рис. 4I). Плазма сірувато-бура, гумусово-глиниста, ізотропна, із поодинокими мікрозонами просоченими залізом та манганом. Уздовж каналоподібних пор мають місце вузькі смуги збіднені на плазму. Органічна речовина представлена бурим муллем, більшою мірою диспергованим.

Кайдацький кліматоліт. Дерново-слабонідзолістий ґрунт (kd<sub>b2</sub>). У горизонті HEi ґрунтовий матеріал злитий, із незначною кількістю мезопор округлої та еліптичної форми. Тонкодисперсний матеріал характеризується виразною мікрозональністю: осередки збіднені на плазму та гумус чергуються з ділянками їх акумуляції. Плазма світло-бура, гумусово-глиниста, із поодинокими фрагментами шаруватих натюків коломорфних глин та глинистих папул. Домішка гумусу, представленого бурим диспергованим муллем, висока. У горизонті з'являються поодинокі карбонатно-глинисті нодулі (рис. 4J).

Горизонт Elh характеризується пухким роздільно-частковим складенням із осередками локальної цементації плазми натюками коломорфних глин. У цілому ґрунтовий матеріал сильно «відмитий» від плазми. Зустрічаються поодинокі дрібні стягнення мангану.

Горизонт Ipgl(e) характеризується блоковим складенням – крупні гострокутні блоки розділені системою вузьких каналоподібних пор. Натюки



Таблиця 1

Стратиграфія	Генетичний горизонт	Складення	Поровий простір											Fe-Mn	Са	Органічна речовина		
			К	Тр	Пу	Ва	Лс	Пв	Ст	Кіл	Наг	Фр	Пал				Гп.	Е
<b>hl</b>	H	Губчасте пухке	++	+	+	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Агрегований бурий та темний муллевий гумус, фітоліти, екскременти
	HPk	Губчасте пухке	+	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+	Агрегований бурий муллевий гумус
<b>pc</b>	Pk	Блокове, злите	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	Пігмент диспергованого гумусу у плазмі
	HPk(gl)	Блокове, пухке роздільно-часткове, губчасте пухке	++	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	Бурий муллевий гумус, мулесподібний модер
<b>df</b>	HPGLk	Блокове, злите, губчасте пухке	+++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	Темний муллевий гумус, мулесподібний модер, модер
	Pk	Блокове, пухке роздільно-часткове, шаруватоподібне	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	Пігмент диспергованого гумусу у плазмі, фітоліт
<b>vt</b>	HPglk	Блокове	+++	++	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+++	++	+	Диспергований бурий та темний муллевий гумус
	Pk	Пухке роздільно-часткове, шаруватоподібне	+++	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+++	+	Пігмент диспергованого гумусу, мулесподібний модер
<b>pl<sub>c</sub></b>	HPk(gl)	Блокове, губчасте пухке	+++	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+++	+	Диспергований частково коагульований бурий муллевий гумус
	HPk	Блокове	+++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+++	+	Диспергований бурий муллевий гумус
<b>pl<sub>b</sub></b>	He	Злите, пухке роздільно-часткове	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Диспергований бурий муллевий гумус, мулесподібний модер
	H(e)	Блокове, губчасте пухке	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Диспергований частково коагульований бурий муллевий гумус
<b>kd<sub>b2</sub></b>	HE	Злите				+++									+	+	+	Диспергований бурий муллевий гумус
	E <sub>lh</sub>	Пухке роздільно-часткове, блокове	+	+++	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+	+	Пігмент диспергованого гумусу
<b>kd<sub>b2</sub></b>	Irgl(e)	Блокове	++			+									+	+	+	Пігмент диспергованого гумусу
	IRPgl	Блокове, пухке роздільно-часткове	++	+++	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	Диспергований бурий муллевий гумус.

Мікроморфологічна будова: **Поровий простір**: **К** – каналоподібні пори; **Тр** – тріщини усихання; **Пу** – пори упаковки; **Ва** – внутрішньоагрегатна пористість; **Оттинна орієнтація плазми**: **Лс** – роздільно-лускувата і роздільно-волокниста; **Пв** – паралельно-волокниста; **Ст** – сплутано-волокниста та сітчаста; **Кіл** – кільцева; **Наг** – натйоки коломорфних глин; **Фр** – фрагменти кутан у плазмі; **Пал** – папули; **Гп** – гіпокутани; **Е** – збіднені на плазмі мікрозони; **Fe-Mn** – залізо-манганові новоутворення. Частота одиниць мікроморфологічної будови: + - зрідка зустрічається; ++ - загалом поширена; +++ - часто зустрічається, переважає

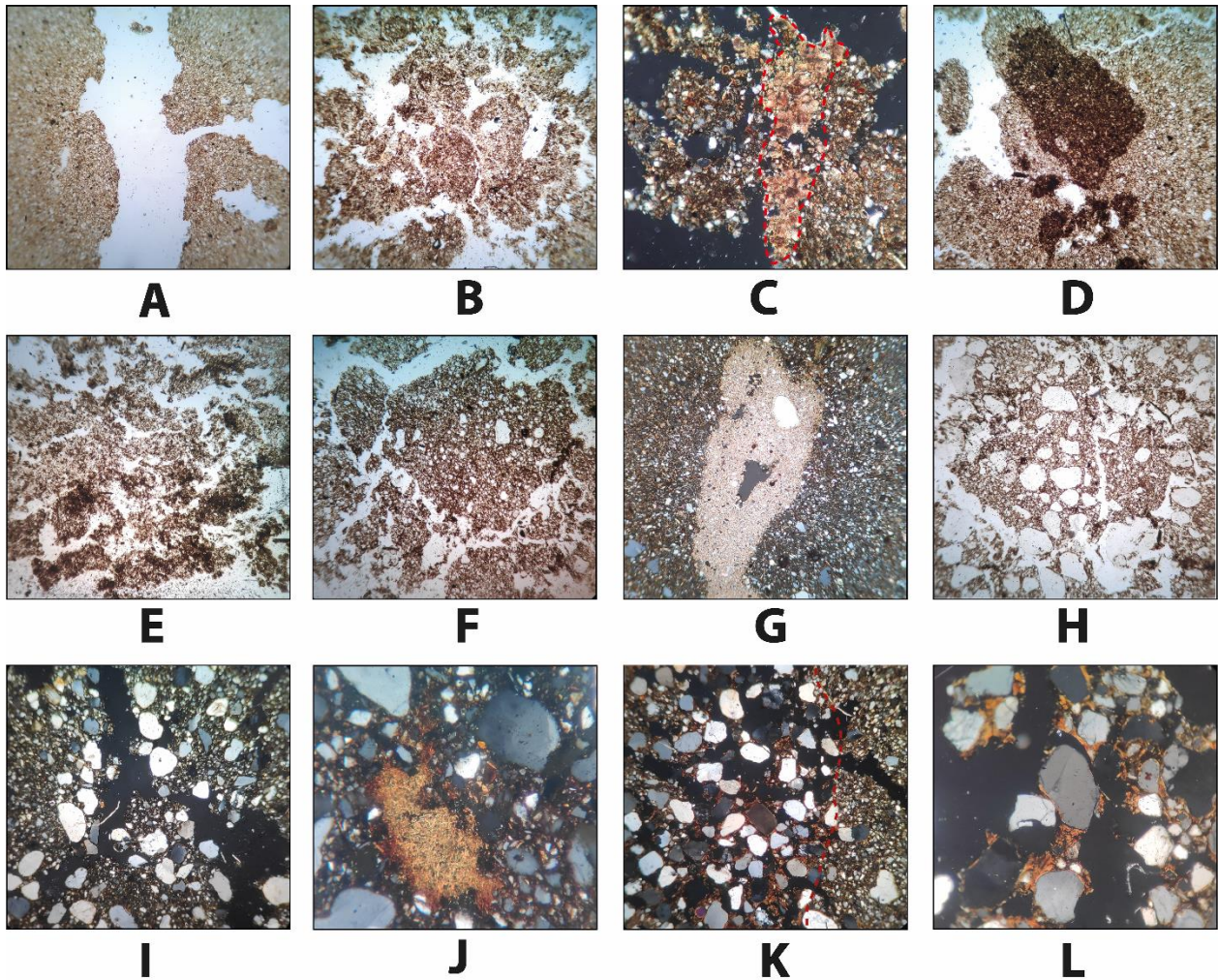


Рис. 4. Мікроморфологічна будова. А – блокове складення і широка каналоподібна пора у причорноморському лесі; В – складні мікроагрегати (II-III порядків) у гор. Нрк(gl) дофінівського ґрунту; С – стягнення дрібнокристалічного кальциту з домішкою глини та гумусу у гор. НPGLk дофінівського ґрунту; D – залізо-гумусові стягнення у витачівському ґрунті; E – концентрація грубих форм гумусу та шаруватоподібне складення удайського лесу; F – крупні прості мікроагрегати у гор. Нк(gl) дерново-карбонатного ґрунту рl<sub>c</sub>; G – карбонатний нодуль, складений криптокристалічним кальцитом у гор. НРк дерново-карбонатного ґрунту рl<sub>c</sub>; H – піщано-плазмова мікробудова та крупні прості мікроагрегати в ініціальному буроземі рl<sub>b</sub>; I – концентрація піщаних зерен вздовж каналоподібних пор, як ймовірний результат криогенного сортування, у чорноземоподібному ґрунті рl<sub>a</sub>; J – глинисто-карбонатний нодуль у гор. HE дерново-слабопідзолистого ґрунту kd<sub>b2</sub>; K – заповнення криогенної тріщини піщаним матеріалом окутаних плівками коломорфних глин у гор. Ірgl(e) дерново-слабопідзолистого ґрунту kd<sub>b2</sub>; L – напівзруйновані натьки коломорфних глин армують між собою піщані зерна скелету, у гор. Ірgl(e) дерново-слабопідзолистого ґрунту kd<sub>b2</sub>

коломорфних глин майже повністю заповнюють існуючий простір, цементуючи ґрунтовий матеріал. Кутани гумусово-залізисто-глинисті, рідше глинисті, шаруваті, з ознаками руйнування (Рис. 4K; 4L). Коломорфні глини вміщують поодинокі пилюваті зерна, що є індикатором процесів партлювації [15].

Кількість натьоків коломорфних глин дещо зменшується у горизонті *IRPgl*, при цьому, вони тут більш зруйновані та асимільовані у плазму. У цілому матеріал збіднений на глину, із підвищеним умістом органічного пігменту у плазмі.

З'являється велика кількість дрібних стягнень мангану у порах, а також поодинокі залізо-манганові мікроортштейни.

**Гранулометричний склад.** За результатами гранулометричного аналізу встановлено, що ґрунти та відклади пленігліціалу характеризуються переважно моноmodalними несиметричними емпіричними полями розподілу фракцій (окрім удайського соліфлюкційного горизонту), із максимумом у фракції крупного пилу (від 45,5% у причорноморському лесі до 71,5% у витачівському ґрунті). Окрім цього, у причорно-

морському кліматоліті та соліфлюкційних горизонтах ( $bg_1$ ,  $ud_1$ ) виявлено підвищений вміст фракції дрібного піску (11,5-26,1%). Вміст мулу у підрозділах пленігліціалу коливається від 18,2% у  $bg$  лесі до 33,4% у гор.  $HPGLk$  дофінівського ґрунту.

Високий вміст мулистих фракцій зумовлює низькі значення медіанного радіусу ( $Md$ ): від 0,011 мм у бузькому лесі до 0,021 мм у причорноморському лесі. В удайському соліфлюкційному горизонті спостерігається різке зменшення вмісту мулу (2,1%), поява фракцій середнього (3,4%) і крупного (0,6%) піску.

Прилуцько-кайдацька ґрунтова світа відзначається як мономодальними, так і бімодальними емпіричними полями розподілу фракцій, із максимумами у фракціях дрібного піску, крупного піску, середнього піску і мулу. У цілому у ґрунтах високим є вміст піщаних фракцій (від 5,6% у гор.  $HPk$  ґрунту  $pl_c$  до 69,3% у гор.  $EIh$  ґрунту  $kd_{b2}$ ), зокрема, середньозернистого і крупнозернистого піску. У кайдацькому ґрунті навіть з'являється домішка грубозернистого піску. Вміст мулистої фракції коливається від 7,7% у ґрунті  $pl_{b2}$  до 19,5% у гор.  $IRPgl$  кайдацького ґрунту. Відносно грубодисперсний гранулометричний склад ґрунтів відображено у медіанному радіусі часточок, особливо у кайдацькому ґрунті (до 0,11 мм у гор.  $EIh$ ).

За показниками коефіцієнту сортування встановлено наступне. Як ґрунтового, так і лесові кліматоліти переважно характеризуються середнім ступенем сортування. Найкраще відсортованими є соліфлюкційні горизонти ( $So=2,72-2,85$ ), голоценовий ґрунт ( $So=2,26-2,37$ ), а також гор.  $HPk$  ґрунту  $pl_c$  ( $So=2,07$ ). Найгірше відсортованими є ґрунти які зазнали впливу процесів оглеєння та ілювіювання: дофінівський ( $So=4,79-4,84$ ) і кайдацький ( $So=3,55-7,67$ ).

**Рівні кріогенезу.** Найдавніші кріогенні утворення виявлені у дніпровському кліматоліті і представлені синседиментними інволюційними деформаціями із системою мікроскидів. Останні, ймовірно, утворилися у результаті локального танення багаторічно мерзлих порід.

Кайдацький педокомплекс деформований системою первинно-ґрунтових жил клиноподібної форми, глибиною до 0,9 м (рис. 2В). Кріоструктури відкриваються із покрівлі гор.  $IRgl(e)$  і заповнені матеріалом цього горизонту. Окрім цього, ґрунт пронизаний системою сітчастих та неповносітчастих посткріогенних текстур, а гор.  $HEi$  – шліровою посткріогенною текстурою (рис. 2Е). Цілком ймовірно, що зазначені вище кріогенні утворення сформувалися упродовж тясминського кріоетапу. А посткріогенні структури мо-

гли утворитися і упродовж пізніших стадій кріогенезу.

Прилуцький педокомплекс деформований соліфлюкційними текстурами (рис. 2В; 2С) тільки у верхній частині ґрунту  $pl_c$  та у ґрунті  $pl_a$ , що дає підстави виділяти два окремих соліфлюкційні горизонти. Перша активізація в'язко-пластичних потоків відбулася, очевидно, упродовж похолодання усередині прилуцького етапу, коли утворилася система первинно-ґрунтових жил глибиною до 1,5 м. Усі морозобійні структури вигнуті вниз за схилом під кутом 30-40°.

Верхній соліфлюкційний горизонт деформує як ґрунт  $pl_c$ , так і нижню частину удайського лесу, тому вважаємо, що активізація в'язко-пластичних потоків мала місце на початку удайського етапу. Поряд із соліфлюкційними процесами активними були і делювіальні. З покрівлі прилуцького кліматоліту відкривається система невеликих первинно-ґрунтових жил клиноподібної форми, глибиною 0,9-1,1 м, які утворюють полігони шириною 1,5 м (рис. 2В). Розкрито також невелику псевдоморфозу за повторно-жилним льодом, глибиною 1,8 м, яка відкривається із покрівлі соліфлюкційного горизонту (рис. 2В). Ширина псевдоморфози у гирлі складає 1,0 м, вона заповнена лесовим матеріалом із підвищеною кількістю карбонатів кальцію. У приконтатній зоні кріоструктури яскраво виражені структури вигинання відкладів уверх як наслідок бічного кріостатичного тиску льодяного клину. Верхня частина псевдоморфози слабо вигнута униз за схилом соліфлюкційними текстурами, що свідчить про її формування у період активних в'язко-пластичних потоків.

Соліфлюкційними текстурами деформована більша частина бузького кліматоліту, хоча витачівський ґрунт залишається непорушеним (рис. 2А). Плікативні деформації на плакорі переходять у насувні та язиковаті структури на схилах і в соліфлюкційні покриви в основі схилів.

Виявлено верхню частину псевдоморфози за повторно-жилним льодом, яка відкривається із покрівлі красилівського рівня оглеєння. Розкрито верхніх 1,5 м псевдоморфози, шириною у гирлі 1,2 м. Потенційно глибина структури може перевищувати 2 м. На цьому рівні виявлено також крупномасштабні інволюційні структури краплино- та кишенеподібної форми. Діаметр окремих «краплин» досягає 50 см. Такі структури утворюються у результаті деградації багаторічної мерзлоти [44, 61, 62]. Із покрівлі красилівського підгоризонту також відкривається густа система тріщин усихання (морозобійних тріщин?) глибиною до 1 м, заповнених карбонатним лесовим матеріалом.

### Реконструкція палеогеографічних умов і етапності формування лесово-грунтових відкладів розрізу.

*Дніпровський етап.* Пачку відкладів дніпровського кліматоліту, на нашу думку, доцільно визначати як фацію перигляціального алювію із комплексом синседиментних інволюційних деформацій.

У розрізі розкрито верхню пачку алювію завадівсько-дніпровської (V-ої за М. Ф. Векличем [16]) надзаплавної тераси. У сучасному рельєфі вона слабо виражена внаслідок значного розчленування рельєфу яружно-балочною мережею молодшого віку. Проте на південній схід від розрізу (біля с. Шибин) розташована поверхня вирівнювання із абсолютними висотами 218-222 м, яку І. Черваньов [42] описує як високу надзаплавну терасу р. Стир. Високі значення абсолютних висот тераси, описаної біля с. Шибин, можуть свідчити про її давній вік. На основі вивчення кількох розрізів у басейні р. Дежі, ми припускаємо, що алювіальні відклади, описані у розрізі Смиків, утворені річкою Дежа, а не р. Стир. Морфологічно виражені надзаплавні тераси у долині Дежі сформувалися вже у пленігліціалі.

У розрізі Смиків верхня пачка алювію дніпровського кліматоліту у напрямку сучасної долини р. Дежа частково зрізається педоседиментами кайдацького часу, що однозначно свідчить про наявність у той час похилу території. На основі вивчення серії розчинок, закладених у напрямку річки, встановлено, що крутизна схилу річкової долини була значною вже у прилуцький час. Це обумовлювало активний розвиток делювіальних процесів у теплі періоди і соліфлюкційних у холодні. Таким чином, можна припустити, що значний ерозійний вріз р. Дежа відбувався із початку *кайдацького часу*. Глибокий ерозійний вріз на початку останнього міжзледеніння у цілому є типовим для Східноєвропейської рівнини [3,16,20].

До кінця міжзледеніння ерозійні процеси поступово затухали, у результаті чого накопичення педоседиментів припинилося, а педогенез *in situ* розпочався. За морфологічними ознаками кайдацького кліматоліту у розрізі Смиків можна виділити всі три стадії педогенезу:  $kd_a$ ,  $kd_{b1}$ ,  $kd_{b2}$ , встановлені Н. О. Сіренко [40]. На початковій стадії формувалися дернові ґрунти, а на ранньому оптимумі – лісові. Дерново-слабопідзолистий ґрунт пізнього оптимуму простежено у розрізі вже *in situ*. З підшви горизонту *Elh* цього ґрунту відкривається система первинно-ґрунтових жил, що дає підстави виділяти дві фази педогенезу, розділені похолоданням. Кріоструктури могли утворитися упродовж *тясминського кріоетану*. Тобто малопотужний матеріал тясминського клі-

матоліту міг бути перетворений процесами педогенезу у прилуцький час.

Інтенсивні процеси опідзолення-ілювіювання у ґрунті  $kd_{b2}$  обумовили накопичення у гор.  $Ip_{gl}(e)$  великої кількості коломорфних глин, які практично повністю заповнюють існуючий простір, цементуючи ґрунтовий матеріал. Це, у свою чергу, викликало погіршення умов аерації і розвиток слабких процесів поверхневого оглеєння. Легкий гранулометричний склад материнської породи і інтенсивні процеси опідзолення обумовлювали не лише міграцію глинистої фракції вниз за профілем, а й окремих пилюватих зерен, що ідентифікуються за включеннями первинних мінералів у кутанах.

*Прилуцький етап.* Супіщаний гранулометричний склад, велика кількість середньоокатаних піщаних зерен і добре сортування матеріалу прилуцького кліматоліту дають підстави говорити про значну інтенсивність ерозійних процесів у той час. Однак співвідношення інтенсивності процесів педогенезу і осадо накопичення було таким, що забезпечувало утворення ґрунтів, а не педолітів. Полігенетичний чорноземоподібний ґрунт прилуцького кліматоліту, найвірогідніше, сформувався упродовж трьох стадій педогенезу.

У ранню стадію утворився чорноземоподібний ґрунт зі слабкими ознаками опідзолення. Останні обумовлені легким гранулометричним складом материнської породи. Ґрунтовий матеріал характеризується гумусово-глинистим складом плазми, проте лише частковою агрегованістю. Значний ступінь дезагрегації матеріалу міг бути результатом епігенетичних процесів промерзання-танення та ініціального оглеєння [21, 63]. Кріогенна трансформація ґрунтового матеріалу на мікрорівні підтверджується сортуванням піщаних зерен за стінками порового простору, що, найвірогідніше, є результатом кріогенного пучіння [21, 29, 38]. Ґрунти чорноземного ряду формувалися на території України загалом [20, 49], і на території Волинської височини [46], зокрема, упродовж підстадії  $pl_{1b2}$ . Тому й корелюємо описаний ґрунт із утвореннями цієї підстадії.

Деформації чорноземоподібного ґрунту соліфлюкційними текстурами і системою первинно-ґрунтових жил, які відкриваються з його кривлі, є індикаторами значного похолодання клімату усередині прилуцького етапу. Найвірогідніше, кріогенез в умовах глибокого сезонного промерзання відбувався упродовж холодного підетапу ' $pl_2$ ', простеженого у розрізах інших районів України [49].

Вище залягає непорушений пластичними деформаціями ініціальний ґрунт ( $pl_b$ ), який за своїми морфологічними рисами нагадує ембріональний бурозем. Проте гумусово-глинистий

склад плазми є індикатором відносно активних процесів гумусоутворення. Поряд із мулевим гумусом, існують осередки накопичення грубих форм гумусу (модер, мулеподібний модер), що свідчить про кислі умови гумусонакопичення. Такі умови могли існувати у світлих лісах [39]. Сліди процесів опідзолення та лесиважу відсутні. Цей ґрунт міг утворитися упродовж ранньої стадії підетапу 'p1з' - p1з<sub>б1</sub>.

Верхній ґрунт прилуцької ґрунтової світи є дерново-карбонатним. У нижній його частині (гор. НРк.) плазма просочена крипто- та мікрокристалічним кальцитом, який подекуди цементує ґрунтовий матеріал. Новоутворення карбонатів значною мірою перекристалізовані та несуть ознаки їхньої сезонної міграції. У гор. Нк(gl) зростає домішка диспергованого гумусу типу «степовий муль», який скоагулювано у крупні та прості мікроагрегати. Велика кількість залізо-манганових новоутворень є результатом діагенетичного оглеєння. Отже, особливості ґрунту свідчать про його формування в умовах посушливого клімату, а сам ґрунт може бути віднесений до пізньої стадії підетапу - p1з<sub>б2</sub>.

На початку *удайського кріоетапу* ще в аридних умовах сформувалася система невеликих первинно-ґрунтових жил (глибиною 1 м та із шириною полігонів 1,5 м). Подальше наростання зволоженості клімату обумовило активізацію соліфлюкційно-делювіальних процесів на схилах крутизною навіть 2. У цей час сформувалася невелика псевдоморфоза за повторно-жилним льодом (глибиною 1,8 м), яка припинила свій ріст ще у період активних соліфлюкційних процесів. Найвірогідніше, деградація льодяного клина відбулася ще на початку стадіалу. Палеомерзлотний комплекс *удайського кріоетапу*, досліджений і в інших розрізах території Волинської височини [14, 33, 50], дає підстави вважати, що у цей час тут існувала дискретна кріолітозона.

До кінця *удайського етапу* процеси кріогенезу та делювіального змиву поступово змінюються лесонакопиченням. Проте високий вміст органічної речовини у плазмі у вигляді згустків аморфного мулевого гумусу та гумусу типу модер свідчать про участь ініціальних процесів педогенезу (зокрема гумусонакопичення) в утворенні відкладів.

У *витацівській час* мала місце активізація ерозійних процесів, що відображене у перевідкладенні ґрунтового матеріалу. У цей час, ймовірно, формувалися бурі глейові ґрунти в умовах контрастного водного режиму, у результаті чого органічна речовина була скоагульована в аморфні згустки, гідроксиди заліза та мангану сегреговані у нодулі, утворилася система мікротріщин усихання. Присутність уздовж каналоподібних

пор карбонатно-глинистих гіпокутан, вірогідно, є результатом сезонної міграції карбонатів разом із капілярною вологою. Утворення карбонатних гіпокутан, ймовірно, було діагенетичним.

У *бузький час* соліфлюкційні процеси на схилах існували досить довго, що обумовило пластичні деформації майже усього лесового кліматоліту. Локалізація великої кількості карбонатів у борошністій формі (розмір кристалів кальциту майже відповідає розміру пилюватих зерен), вірогідно, є результатом обумовленої кріогенезом кристалізації насичених кальцитом розчинів [52]. Окрім цього, зустрічаються карбонатні нодулі (до 4 см у діаметрі), які, за [28], утворюються в умовах зміни періодичного стояння вологи із посушливими сезонами. Перезволоження відкладів кліматоліту могло бути зумовленим існуванням місцевого водотривкого шару багаторічно мерзлих порід. При цьому, також мають місце псевдоморфози карбонатів за давніми коренями, які складаються із крупніших кристалів кальциту розміщених концентрично у поровому просторі. За [43] такі кристали утворюються у результаті заміщення органічних клітин кальцитовим розчином та його подальшою кристалізацією.

У *дофінівській час* сформувалася палеобурий карбонатний ґрунт, оглеєний у нижній частині. Ґрунт відзначається високим вмістом карбонатів (10,4-12,9%), проте вони в основному поширені у борошністій формі, і, ймовірно, мають кріогенне походження. Діагенетичне формування карбонатів підтверджується їхньою максимальною локалізацією у верхній частині генетичного профілю ґрунту.

Високий вміст органічної речовини у плазмі, а місцями складна мікроагрегація ґрунтового матеріалу свідчать, по-перше, про інтенсивні процеси гумусоутворення, а по-друге, про високу активність ґрунтової фауни. У гор. НРGLk органічна речовина представлена більш грубими формами гумусу (мулеподібним модером і модером), які утворилися в умовах сезонного стояння вологи. Вірогідно, кислі умови гумусонакопичення, які існували на ранній фазі педогенезу, змінилися нейтральними на пізній. Це може свідчити про зменшення ступеня ґрунтового зволоження до кінця етапу.

У *причорноморський час* відбулося утворення типових карбонатних лесів в умовах деякої активізації ерозійних процесів. Останнє впливає із підвищеного вмісту фракції дрібного піску. Карбонати представлені в основному мікритом, який рівномірно просочує плазму і зрідка сегреговано у новоутворення, що свідчить про їхній більшою мірою синседиментний генезис. За наявності ініціального глейового ґрунту

у цьому лесовому кліматоліті можна ідентифікувати потепління клімату усередині етапу (**pc<sub>2</sub>**).

Значне похолодання клімату впродовж його пізнього підетапу (**pc<sub>3</sub>**) обумовило активізацію процесів криогенезу – формування системи псевдоморфоз за повторно-жильним льодом (глибиною близько 2 м). В умовах локальної деградації багаторічної мерзлоти чи зростання глибини діяльного шару утворилася система інволюційних деформацій.

У голоцені сформувався чорнозем типовий, який, у результаті процесів площинного змиву, характеризується укороченим профілем і локалізацією карбонатів у нижній частині ґрунту.

#### Висновки.

1) Лесово-ґрунтова формація у розрізі Смиків підрозділяється на дрібні стратиграфічні одиниці, особливо у кайдацькому і прилуцькому кліматолітах, що робить цей розріз цінним для подальшої розробки і вдосконалення регіональної схеми короткоперіодичної палеогеографічної етапності.

2) Перигляціальний алювій дніпровського часу, який залягає в основі розрізу Смиків, а також аналіз будови сусідніх відслонень, свідчить про розташування розрізу на давній надзаплавній терасі р. Дежа. Ерозійний вріз р. Дежа, який триває до тепер, розпочався у кайдацькому етапі.

3) Розташування розрізу на пологому схилі дозволяє визначити за його утвореннями декілька фаз активізації ерозійних і соліфлюкційних процесів. Ерозійні процеси були найбільш активними на фазах: **kd<sub>a</sub>**, **kd<sub>b1</sub>**, **pl**, **ud<sub>1</sub>**, **vt**, **pc**, **hl**, соліфлюкційні процеси – на фазах: **pl<sub>2</sub>**, **ud<sub>1</sub>**, **bg**.

4) Упродовж кайдацького етапу мали місце три фази педогенезу: **kd<sub>a</sub>**, **kd<sub>b1</sub>**, **kd<sub>b2</sub>**. У розрізі Смиків утворення перших двох фаз у зв'язку із розвитком ерозійних процесів представлені пе-

доседиментами, упродовж третьої фази відбулося утворення дерново-слабопідзолистого ґрунту.

5) За особливостями будови прилуцького педокомплексу реконструйовано такі короткоперіодичні етапи розвитку природи цього часу: **pl<sub>1b2</sub>** – формування чорноземоподібного опідзоленого ґрунту за умов аридизації клімату; **pl<sub>2</sub>** – похолодання й активізація криогенних процесів (соліфлюкція, морозобійне розтріскування); **pl<sub>3b1</sub>** – формування ініціальних дерново-бурих ґрунтів; **pl<sub>3b2</sub>** – формування дерново-карбонатних ґрунтів за умов аридизації клімату.

6) На початку удайського етапу фаза морозобійного розтріскування змінилася фазою розвитку соліфлюкційно-делювіальних процесів. У цей час існувала дискретна криолітозона. До кінця етапу схилі процеси послабилися, посилювалися лесонакопичення та ініціальний педогенез.

7) Наступні інтерстадіали позначені такими подіями. У витачівський час активізація ерозійних процесів обумовила перевідкладення бурих глейових ґрунтів. У дофінівський час формувалися палево-бурі карбонатні ґрунти із огляснням нижньої частини профілю.

8) Упродовж тривалої частини бузького часу мала місце фаза активізація соліфлюкційних процесів, яка до кінця етапу змінилася процесами лесонакопичення.

9) У причорноморський час повторно активізувалися слабкі ерозійні процеси, проте криогенні в'язко-пластичні течії не мали місця. Локалізація у причорноморському лесі найбільшої кількості карбонатів, тріщин усихання і псевдоморфоз за повторно-жильним льодом свідчить про суворий та посушливий клімат у холодні підетапи **pc<sub>1</sub>**, **pc<sub>3</sub>**, розділені потеплінням клімату **pc<sub>2</sub>**. Упродовж останнього формувалися ініціальні глейові ґрунти.

#### Література

1. Артюшенко А.Т. История растительности западных областей Украины в четвертичном периоде / А.Т. Артюшенко, Р.Я. Аран, Л.Г. Безусько. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 136 с.
2. Безусько Л.Г. Закономірності та тенденції розвитку рослинного покриву України у пізньому плейстоцені та голоцені / Л.Г. Безусько, С.Л. Мосякін, А.Г. Безусько. – Київ: Альтерпрес, 2011. – 448 с.
3. Беляев Ю.Р. Развитие балочных верховий центра Среднерусской возвышенности в конце среднего – позднем плейстоцене / Ю.Р. Беляев, Т.М. Григорьева, С.А. Сычева, Е.Д. Шеремецкая // Геоморфология. – 2008. – №1 – С. 43-55. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2008-1-43-55>
4. Богуцький А. Палеокриогенные процессы на западе Украины в верхнем и среднем плейстоцене / А. Богуцький, А. Величко, В. Нечаев // Проблемы палеогеографии лессовых и перигляциальных областей. – Москва: Наука, 1975. – С. 80-89.
5. Богуцький А. Антропогенные покровные отложения Воляно-Подолши / А. Богуцький // Антропогенные отложения Украины / Отв. ред. Д.Е. Макаренко. – Киев: Наукова Думка, 1986. – С. 121-132.
6. Богуцький А.Б. Основные палеокриогенные этапы плейстоцена юго-запада Восточно-Европейской платформы / А.Б. Богуцький // Четвертичный период: методы исследования, стратиграфия и экология. Тез. VII Все-союз. совещ. – Таллинн, 1990. – Т. 1. – С. 65–66.
7. Богуцький А. Інженерно-геологічна характеристика порід лесово-ґрунтової серії опорного розрізу Дубно (Тараканів), Волинська височина / А. Богуцький, П. Волошин // Вісник Львівського університету. Серія Географія. – 2011. – Вип. 39 – С. 28-34.

8. Бозуцький А. Делювіально-соліфлюкційні процеси й проблеми перевідкладення і датування палеолітичних культур / А. Бозуцький, М. Ланчонт, О. Томенюк, О. Ситник // *Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині*. – Львів: Ін-т українознавства ім. І. Крип'якевича НАН України, 2012. – Вип. 16. – С. 55-64.
9. Бозуцький А. Верхній палеоліт Мізоцької височини на матеріалах стоянок Ліпа I та Ліпа VI: природне середовище, вік, техніка обробки кременю, первісне мистецтво / А. Бозуцький, О. Ситник, О. Томенюк, Р. Коронецький // *Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині*. – 2018. – Вип. 22. – С. 23-41.
10. Бончковський О.С. Новий Тік – новий розріз лесово-грунтової серії неоплейстоцену Волинської височини / О.С. Бончковський // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2015. – Вип. 79. – С. 77-89.
11. Бончковський О.С. Колодежі – новий розріз лесово-грунтової серії верхнього неоплейстоцену Волинської височини / О.С. Бончковський // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2015. – Вип. 80. – С. 69-76.
12. Бончковський О.С. Новостав – детально стратифікований розріз лесово-грунтової серії Волинської височини / О.С. Бончковський // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2017. – Вип. 86. – С. 29-40.
13. Бончковський О.С. Ковбань – детально стратифікований розріз лесово-грунтової серії Волинської височини / О.С. Бончковський // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2018. – Вип. 90. – С. 24-33.
14. Бончковський О.С. Палеокріогенні процеси на території Волинської височини / О.С. Бончковський // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія Геологія. Географія*. – 2018. – Вип. 26 – С. 3-16. <https://doi.org/10.15421/111801>
15. Бронникова М.А. Силикатные кутаны иллювицирования как носители памяти почв / М.А. Бронникова // *Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин*. – Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. – С. 468-491.
16. Веклич М.Ф. Палеозанность и стратотипы почвенных формаций Украины верхнего кайнозоя / М.Ф. Веклич. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 200 с.
17. Веклич М.Ф. Стратиграфическая схема плейстоценовых отложений Украины / М.Ф. Веклич, Н.А. Сиренко, Ж.М. Матвишина, Н.П. Герасименко, В.И. Передерий, С.И. Турло // *Стратиграфические схемы фанерозоя и докембрия Украины*. – Киев: Госком геологии Украины, 1993. – 40 с.
18. Волошин П.К. Инженерно-геологическое расчленение лессовых толщ с применением методов палеокриологии и палеопедологии (на примере опыта инженерно-строительных изысканий Волино-Подольи): Автореф. ... канд. геогр. наук / П.К. Волошин. – Москва: 1987. – 19 с.
19. Гагарина Э.И. Микроморфологический метод исследования почв / Э.И. Гагарина. – Санкт-Петербург: Изд-во СПб ун-та, 2004. – 156 с.
20. Герасименко Н.П. Развитие зональных ландшафтов четвертинного периода на территории Украины: Автореф. ... д-ра геогр. наук / Н.П. Герасименко. – Київ, 2004. – 46 с.
21. Герасимова М.И. Микроморфология почв природных зон СССР / М.И. Герасимова, С.В. Губин, С.А. Шоба. – Пуццино: Пуцинский научный центр, 1992. – 219 с.
22. Геренчук К.І. Природа Ровенської області / К.І. Геренчук. – Львів: Вища школа, 1976. – 156 с.
23. Главацький Д. Петромагнетизм і палеомагнетизм субаеральних відкладів розрізів Бояничі і Коршів (Волинська височина) / Д. Главацький, В. Бахмутов, А. Бозуцький, П. Волошин // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. – 2016. – Вип. 1. – С. 43-51.
24. Дмитрук Р.Я. Палеогеографічні умови верхньоплейстоценового лесонагромадження Волино-Поділля (на основі вивчення малакофауни): Автореф. ... канд. геогр. наук / Р.Я. Дмитрук. – Львів, 2001. – 15 с.
25. Дорошкевич С.П. Природа Середнього Побужжя у плейстоцені: за даними вивчення викопних ґрунтів / С.П. Дорошкевич. – Київ: Наукова Думка, 2018. – 176 с.
26. Кармазиненко С.П. Микроморфологічні дослідження викопних і сучасних ґрунтів України / С.П. Кармазиненко. – Київ: Наукова Думка, 2010. – 120 с.
27. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почв: методы его изучения / Н.А. Качинский. – Москва: Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.
28. Ковда И.В. Карбонатные новообразования в почвах: старые и новые проблемы изучения / И.В. Ковда // *Почвы, биогеохимические циклы и биосфера*. – Москва: КМК, 2004. – С. 115-136.
29. Кошелева И.Т. Микроморфология тундровых почвогрунтов как возможный индикатор их генезиса / И.Т. Кошелева // *Известия АН СССР. Серия географическая*. – 1958. – №3. – С. 25-30.
30. Кузьмишина І.І. Флора Волинської височини, її антропогенна трансформація та охорона: Автореф. ...канд. біол. наук / І.І. Кузьмишина. – Луцьк, 2008.
31. Матвишина Ж.Н. Микроморфология позднеплейстоценовых почв Украины / Ж.Н. Матвишина. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 144 с.
32. Морозова Т.Д. Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене / Т.Д. Морозова. – Москва: Наука, 1981. – 282 с.
33. Нечаев В.П. Палеокриогенные процессы на территории Волино-Подольской возвышенности в верхнем плейстоцене: Автореф. ... канд. геогр. наук / В.П. Нечаев. – Москва, 1983. – 19 с.
34. Паламарчук Н.Ю. Палеогеографічні умови формування коршівського викопного ґрунтового комплексу Волино-Поділля: Автореф. ...канд. геогр. наук / Н.Ю. Паламарчук. – Львів: ЛНУ імені І. Франка, 2011. – 20 с.
35. Парфенова Е.И. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении / Е.И. Парфенова, Е.А. Ярилова. – Москва: Наука, 1977. – 114 с.

36. Просторово-часова кореляція палеогеографічних умов четвертинного періоду на території України / за ред. Ж.М. Матвіїшиної. – Київ: Наукова Думка, 2010. – 200 с.
37. Пясецький В.К. Палеоліт Волинської височини і Малеого Полісся / В.К. Пясецький. – Рівне, 2009. – 120 с.
38. Рогов В.В. Микростроение мерзлых грунтов: Автореф. ... д-ра геогр. наук / В.В. Рогов. – Москва, 1989. – 38 с.
39. Ромашкевич А.И. Микроморфология и диагностика почвообразования / А.И. Ромашкевич, М.И. Герасимова. – Москва: Наука, 1982. – 124 с.
40. Сиренко Н.А. Развитие почв и растительности Украины в плиоцене и плейстоцене / Н.А. Сиренко, С.И. Турло. – Киев: Наукова думка, 1986. – 188 с.
41. Цацкин А.И. Палеопедологические реконструкции для позднего плейстоцена юго-запада Русской равнины: Автореф. ... канд. геогр. наук / А.И. Цацкин. – Москва, 1980. – 20 с.
42. Черванев И.Г. Структурный анализ бассейна р. Стырь: Автореф. ... канд. геогр. наук / И.Г. Черванев. – Харьков, 1968.
43. Becze-Deak J. Small-scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for palaeoenvironmental reconstructions / J. Becze-Deak, R. Langohr, E.P. Verrecchia // *Geoderma*. – 1997. – V. 76 (3). – P. 221-252.
44. Bertran P. Pleistocene involutions and patterned ground in France: examples and analysis using a GIS database / P. Bertran, P. Antoine, L. Deschodt, M. Font, D. Silicia // *Permafrost and periglacial processes*. – 2017. – V. 28 (4) – P. 710-725. <https://doi.org/10.1002/ppp.1957>
45. Bogucki A. Zapadowosc pleistocenskich pozionow lessowo-glebowych i kriogenicznych Wolynia i Podoli / A. Bogucki, P. Voloshyn, O. Tomeniuk // *Przegląd Geologiczny*. – 2014. – V. 62 (2). – P. 553-559.
46. Bonchkovskiy O.S. Changes in pedogenic processes during Pryluky times (Late Pleistocene) in the central part of the Volyn Upland / O.S. Bonchkovskiy // *Journal Geology, Geography and Geoecology*. – 2019. – V. 28 (2). – P. 230-240. <https://doi.org/10.15421/111924>
47. Dolecki L. Struktury peryglacialne w lessach trzech ostatnich cykli glacialnych (odra, warta, wisla) w Polsce, zachodniej Ukrainie i Rosji poludniowo-zachodniej / L. Dolecki // *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska*. – 2003. – V. 8. – P. 65-92.
48. Fedorowicz S. Loess-paleosol sequence at Korshiv (Ukraine): Chronology based on complementary and parallel dating (TL, OSL), and litho-pedosedimentary analyses / S. Fedorowicz, M. Łanczont, A. Bogucki, J. Kusiak, P. Mroczek, G. Adamiec, A. Bluszcz, P. Moska, M. Tracz // *Quaternary International*. – 2013. – V. 296. – P. 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.06.001>
49. Gerasimenko N. Upper Pleistocene loess-palaeosol and vegetational successions in the Middle Dnieper Area, Ukraine / N. Gerasimenko // *Quaternary International*. – 2006. – V. 149. – P. 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.018>
50. Jary Z. Periglacial markers within the Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in Poland and Western Ukraine / Z. Jary // *Quaternary International*. – 2009. – V. 198 (1). – P. 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.01.008>
51. Kemp R.A. A high-resolution micromorphological record of changing landscapes and climate on the western Loess Plateau of China during oxygen isotope stage 5 / R.A. Kemp, E. Derbyshire, X. Meng // *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. – 2001. – V. 170 (1). – P. 157-169.
52. Konishchev V.N. The role of cryogenic processes in the formation of loess deposits / V.N. Konishchev // *Geography environment sustainability*. – 2015. – №3. – P. 14-35. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2015-8-3-14-35>
53. Kusiak J. New exposure of loess deposits in Boyanychi (Ukraine). Results of termoluminescence analyses / J. Kusiak, M. Łanczont, A. Bogucki // *Geochronometria*. – 2012. – V. 39 (1). – P. 84-100. <https://doi.org/10.2478/s13386-011-0054-1>
54. Łanczont M. Stratigraphic position and natural environment of the oldest Middle Palaeolithic in central Podolia, Ukraine: New data from the Velykyi Glybochok site / M. Łanczont, T. Madeyska, A. Bogucki, O. Sytnyk, J. Kusiak, Z. Frankowski, M. Komar, J. Nawrocki, B. Żogała // *Quaternary International*. – 2014. – V. 326-327. – P. 191-212. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.045>
55. Łanczont M. Natural environment of MIS 5 and soil catena sequence along a loess slope in the Seret River valley: Evidence from the Pronyatyn Paleolithic site (Ukraine) / M. Łanczont, T. Madeyska, O. Sytnyk, A. Bogucki, M. Komar, J. Nawrocki, B. Hołub, P. Mroczek // *Quaternary International*. – 2015. – V. 365. – P. 74-97.
56. Lindner L. Correlation of main climatic glacial-interglacial and loess-paleosol cycles in the Pleistocene of Poland and Ukraine / L. Lindner, A. Bogutsky, P. Gozhik, B. Marciniak, L. Marks, M. Łanczont, J. Wojtanowicz // *Acta Geologica Polonica*. – 2002. – V. 52 (4). – P. 459-1469.
57. Lindner L. Correlation of Pleistocene deposits in the area between the Baltic and Black Sea, Central Europe / L. Lindner, A. Bogutsky, P. Gozhik, L. Marks, M. Łanczont, J. Wojtanowicz // *Geological Quarterly*. – 2006. – V. 50 (1). – P. 195-210.
58. Nawrocki J. Palaeowind directions recorded in the Youngest Loess in Poland and Western Ukraine as derived from anisotropy of magnetic susceptibility measurement / J. Nawrocki, O. Polechońska, A. Bogucki, M. Łanczont // *Boreas*. – 2006. – V. 35(2). – P. 266-271. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01156>
59. Nawrocki J. The magnetic susceptibility record in the Polish and western Ukrainian loess-palaeosol sequences conditioned by palaeoclimate / J. Nawrocki, A. Wojcik, A. Bogucki // *Boreas*. – 1996. – V. 25 – P. 161-169.
60. Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections / G. Stoops, M.J. Vepraskas, A.G. Jongmans. – Wisconsin: Soil Science Society of America Madison, 2003. – 184 p.



61. Vandenberghe J. Cryoturbations / J. Vandenberghe // *Advances in Periglacial Geomorphology* / Ed. M.G. Clark. – New York: Wiley, 1988. – P. 179-198.
62. Vandenberghe J. Cryoturbation structures / J. Vandenberghe // *Encyclopedia of Quaternary Science* / Ed. S.A. Elias, C. Mock. – 2013. – P. 430-435.
63. Van Vliet-Lanoë B. Frost action / B. Van Vliet-Lanoë // *Interpretation of Micromorphological features of soils and regoliths* / Eds. G. Stoops, V. Marcelino, F. Mees – Elsevier, 2010. – P. 81-108.

UDC 551.89:631.42

**Oleksandr Bonchkovskiy,**

PhD student, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,  
[geobos2013@gmail.com](mailto:geobos2013@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1872-4552>

## **SMYKIV – THE NEW KEY SECTION OF THE UPPER PLEISTOCENE OF THE VOLYN UPLAND**

**Formulation the problem.** The new section at Smykiv in the Volyn Upland has an informative stratigraphic record, showing details of climatic phases in the Late Pleistocene. The site is located in the Rivne Oblast, 40 km south of Lutsk, on slope of the River Dezha (the tributary of the River Styr).

**Review of previous publications and studies.** The loess-palaeosol sequence of the Volyn' Upland has been intensively studied by Ukrainian, Russian and Polish researchers such as A. Bogucki, M. Lanczont, P. Voloshyn, A. Tsatskin, V. Nechaev, T. Morozova, L. Bezusko, J. Kusiak, S. Fedorowicz, J. Nawrocki, R. Dmytruk and many others.

**Methods.** The section has been studied using lithostratigraphic, palaeopedological, palaeocryological, grain size, micromorphological and partial chemical methods, which enable the reconstruction of past climate and environment. The stratigraphy is applied follows the Quaternary Framework of Ukraine (Veklich et al., 1993). All the stratigraphical units of the Upper Pleistocene are represented in the section; and, herein, these divided into smaller parts characterized by distinct environmental histories.

**The purpose** of the article is to study the detailed stratified sequence at Smykiv by various methods in order to clarify the regional Quaternary palaeogeographical scheme.

**Results.** The periglacial alluvium of the Dnipro unit, at the base of the sequence, and the analysis of the position of the site in the relief indicate the interpretation that it is located on the Dezha river's terrace. The alluvium bed is distorted by syngenetic involutions. The overlying Kaydaky unit truncates the alluvium, and is inclined parallel to the present valley slope.

Three pedogenetic phases during the Kaydaky times are identifiable: pedosediments formed in the first phase ( $kd_a$ ), pedosediments of forest soil formed in the early optimum ( $kd_{b1}$ ) and a Retisol formed in the late optimum ( $kd_{b2}$ ). During the Tyasmyn cold event, a network of small soil veins formed.

Renewed, but less intense than in the Kaydaky unit, erosion processes started in Pryluky times. It can be demonstrated that the Pryluky polygenetic soil was formed in three phases, divided by a cold event in mid Pryluky times ( $pl_2$ ). A Chernozem with signs of slight podzolisation and biogenic aggregation was formed during the first phase ( $pl_{1b2}$ ). The soil is disturbed by cryogenic features formed during  $pl_2$ . An incipient Cambisol was enriched with a fine organic matter during the phase  $pl_{3b1}$ . An incipient Calcic Cambisol ( $pl_{3b2}$ ), aggregated and slightly gleyed, formed at the end of the Pryluky time.

Erosion processes were not strongly developed during Pleniglacial. At the beginning of the stadials (in Uday and Bug times), solifluction processes occurred. At the beginning of these stadials, other cryogenic features, such as soil veins, frost fissures and ice-wedges, were also formed. Upper Pleistocene loess beds show slight pedogenesis, particularly very weak humus accumulation and biogenic aggregation. Furthermore, all Pleniglacial units are enriched in carbonates in diverse forms: however, the most common is disperse powdery lime. These last are frequently interpreted as being the result of calcite crystallization under cryogenic processes.

During Vytachiv and Dofinivka interstadial times, boreal soils were formed – Gleyic Cambisol and Calcic Gleyic Cambisol, respectively. The first is mostly represented by pedosediments (indicating intense erosion), whereas the second soil is preserved *in situ* and it is enriched in fine organic matter and is well-microaggregated. The last loess unit of the Upper Pleistocene, the Prychornomorsk loess unit, is subdivided into two loess subunits ( $pc_1$  and  $pc_3$ ) which are connected with cryogenic events, and a Gleysol ( $pc_2$ ), indicating a relatively warm period.

**Keywords:** loess-paleosol series, soil suite, grain-size analysis, micromorphology, cryogenic level, short-period development stages.

#### References

1. Artiushenko A.T., Arap R.Ya., Bezusko L.G. (1982). *Istoriya rastitelnosti zapadnykh oblastey Ukrainyi v chetvertichnom periode [The history of vegetation in Western Ukraine in the Quaternary]*. Kyiv: Naukova Dumka. [In Russian].
2. Bezusko L.G., Mosyakin S.L., Bezusko A.G. (2011). *Zakonomirnosti ta tendentsii rozvytku roslynnoho pokryvu Ukrainy u piznomu pleistotseni ta holotseni [Patterns and trends of development of the plant cover of Ukraine in the Late Pleistocene and Holocene]*. Kyiv, Alterpress. [In Ukrainian].
3. Belyayev Yu.R., Grigoryeva T.M., Sycheva S.A., Sheremetskaya E.D. (2008). *Razvitiya balochnykh verkhovi tsentra Srednerusskoy vozvyshehnosti v kontse srednego – pozdnem pleystotsene [The development of balka headwaters in the central part of Middle-Russian highland during the end of middle-late Pleistocene]*. *Geomorphology*, 1, 43-55. [In Russian]. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2008-1-43-55>
4. Bogucki A., Velichko A., Nechaev V. (1975). *Paleokriogennyye protsessy na zapade Ukrainy v verkhnem i srednem pleystotsene [The paleocryogenic processes in the Western Ukraine during Middle and Late Pleistocene]*. *Problemy paleogeografii lessovykh i periglyatsialnykh oblastey. Moscow, Nauka*, 80-89. [In Russian].
5. Bogucki A. (1986). *Antropogenovye pokrovnye otlozheniya Volyno-Podolii [Anthropogenic surface deposits of the Volyno-Podolia]*. In D.E. Makarenko (ed), *Antropogenovy vidklady Ukrainy (pp. 121-132)*. Kyiv, Naukova Dumka. [In Russian].
6. Bogutski A.B. (1990). *Osnovnyye paleokriogennyye etapy pleystotsena yugo-zapada Vostochno-Evropeyskoy platformy [The main paleocryogenic stages of the Pleistocene of the south-west of the East European platform]*. *Quaternary period: methods of study, stratigraphy and ecology. Thesis of the VI All-Union Conference. Tallinn*, 1, 65–66. [In Russian].
7. Bogucki A., Voloshyn P. (2011). *Inzhenerno-geologichna kharakterystyka porid lesovo-gruntovoi serii opornoho rozrizu Dubno (Tarkaniv), Volynska vysochyna [Engineering-geological characteristics of the rocks of loess-soil series at the key profile Dubno (Tarkaniv), the Volyn Upland]*. *Visnyk Lviv univ. Ser. Geogr.*, 39, 28-34. [In Ukrainian].
8. Bogucki A., Lanczont M., Tomeniuk O., Sytnyk O. (2012). *Deluvialno-solifliuktsiini protsesy y problemy perevidkladennia i datuvannia paleolitychnykh kultur [Colluvial-solifluctional processes and problems of redeposition and dating of Paleolithic cultural horizons]*. *Materialy doslidzhen' z archeologii Karpat i Volyni*, 16, 55-64. [In Ukrainian].
9. Bogucki A., Sytnyk O., Tomeniuk O., Koropetskyi. (2018). *Verkhni paleolit Mizotskoi vysochyny na materialakh stoianok Lypa I ta Lypa VI: pryrodne seredovyshche, vik, tekhnika obrobky kremeniu, pervisne mystetstvo [Upper Palaeolithic of Mizoch Upland on the materials of Lypa I and Lypa VI sites: natural environment, age, technique of flint knapping, primeval art]*. *Materialy doslidzhen' z archeologii Karpat i Volyni*, 22, 23-41. [In Ukrainian].
10. Bonchkovskiy O.S. (2015). *Novyi Tik – novyi rozriz lesovo-gruntovoi serii neopleistotsenu Volynskoi vysochyny [Novyi Tik – new loess-soil section in the Volyn Upland]*. *Physical Geography and Geomorphology*, 79, 77-89. [In Ukrainian].
11. Bonchkovskiy O.S. (2015). *Kolodezhi – novyi rozriz lesovo-gruntovoi serii verkhnoho neopleistotsenu Volynskoi vysochyny [Kolodezhi – new loess-soil section of the Upper Pleistocene of the Volyn Upland]*. *Physical Geography and Geomorphology*, 80, 69-76. [In Ukrainian].
12. Bonchkovskiy O.S. (2017). *Novostav – detalno stratyfikovanyi lesovo-gruntovyi rozriz Volynskoi vysochyn [Novostav – detail stratified loess-soil section of Volyn Upland]*. *Physical Geography and Geomorphology*, 86, 29-40. [In Ukrainian].
13. Bonchkovskiy O.S. (2018). *Kovban – detalno stratyfikovanyi lesovo-gruntovyi rozriz Volynskoi vysochyn [Kovban – detail stratified loess-soil section of Volyn Upland]*. *Physical Geography and Geomorphology*, 90, 24-33. [In Ukrainian].
14. Bonchkovskiy O.S. (2018). *Paleokriohenni protsesy na terytorii Volynskoi vysochyny [Paleocryogenic processes in the Volyn` Upland]*. *Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography*, 26(1), 3-16. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/111801>
15. Bronnikova M.A. (2008). *Silikatnyye kutany illyuvirovaniya kak nositeli pamyati pochv [Silicate illuviation cutans as carriers of soil memory]*. In V.O. Targulian, S.V. Goryachkin (eds), *Soil as memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere interactions (pp. 468-491)*. Moscow, LKI. [In Russian].
16. Veklich M.F. (1982). *Paleoetapnost i stratotipy pochvennykh formatsiy Ukrainy verkhnego kaynozoya [Stages and stratotypes of the soil formations of Ukraine in the Upper Cenozoic]*. Kyiv, Naukova Dumka. [In Russian].
17. Veklich M.F., Sirenko N.A., Matviishina Zh.N., Gerasimenko N.P., Perederiy V.I., Turlo S.I. (1993). *Stratigraficheskaya shema pleystotsenovyykh otlozheniy Ukrainyi [Stratigraphic framework of the Pleistocene deposits of Ukraine]*. *Stratigraphic schemes of Phanerozoic and Precambrian of Goskompgeology*. Kiev: State Committee of Geology of Ukraine. [In Russian].
18. Voloshin P.K. (1987). *Inzhenerno-geologicheskoe raschlenenie lessovykh tolsch s primeneniem metodov paleokriologii i paleopedologii (na primere opyta inzhenerno-stroitelnykh izyiskaniy Volyno-Podolii [Engineering-geological stratification of loess strata using the methods of paleocryology and paleopedology (based on the experi-*

- ence of engineering and construction surveys of Volyn-Podolia]. *Avtoref. of Candidate of Sciences' thesis in Geography. Moscow. [In Russian].*
19. Gagarina E.I. (2004). *Mikromorfologicheskii metod issledovaniya pochv [Micromorphological method of soils studies]. Sankt-Peterburg. [In Russian].*
  20. Gerasimenko N.P. (2004). *Rozvytok zonalnykh landshaftiv chetvertynnoho periodu na terytorii Ukrainy [The development of zonal landscapes of the Quaternary period in the territory of Ukraine]. Avtoref. of Doctor of Science' thesis in Geography. Kyiv. [In Ukrainian].*
  21. Gerasimova M.I., Gubin S.V., Shoba S.A. (1992). *Mikromorfologiya pochv prirodnih zon SSSR [Micromorphological features of the USSR zonal soils]. Pushchino: Pushchino Centre of Science. [In Russian].*
  22. Gerenchuk K.I. (1976). *Pryroda Rovenskoï oblasti [Nature of Rivne region]. Lviv: Vyscha shkola. [In Ukrainian].*
  23. Hlavatskyi D., Bakmutov V., Bogucki A., Voloshyn P. (2016). *Petromagnetizm i paleomagnetizm subaeralnykh vidkladiv rozriziv Boianychni i Korshiv (Volynska vysochyna) [Petromagnetism and palaeomagnetism of subaerial deposits of Boyanychni and Korshiv sections (Volhynian Upland)]. Visnyk Taras Shevchenjo National University of Kyiv. Geology, 1, 43-51. [In Ukrainian].*
  24. Dmytruk R.Ya. (2001). *Paleoheohrafichni umovy verkhnopleistotsenovoho lesonahromadzhennia Volyno-Podillia (na osnovi vyvchennia malakofauny) [The palaeogeography condition of the Late Pleistocene loess forming in Volyno-Podillia (based on the study of malacofauna)]. Avtoref. of Candidate of Sciences' thesis in Geography. Lviv. [In Ukrainian].*
  25. Doroshkevych S.P. (2018). *Pryroda serednoho Pobuzhzhia u pleistotseni: za danymy vyvchennia vykopnykh gruntiv [Pleistocene palaeoenvironment in Middle Pobuzhzhia: according to the study of buried soils]. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian].*
  26. Karmazinenko S.P. (2010). *Mikromorfologichni doslidzhennia vykopnykh i suchasnykh gruntiv Ukrainy [Micromorphological studies of buried and modern soils of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian].*
  27. Kachinskiy N.A. (1958). *Mekhanicheskii i mikroagregatnyi sostav pochvy: metody ego izucheniya [Grain-size and microaggregate composition of soil: methods it studies]. Moscow: AS USSR. [In Russian].*
  28. Kosheleva I.T. (1958). *Mikromorfologiya tundrovykh pochvogruntov kak vozmozhnyi indikator ikh genezisa [Tundra soils micromorphology as a possible indicator of their forming]. Izvestiya AN SSS. Ser. Geografy, 3, 25-30. [In Russian].*
  29. Kovda I.V. (2004). *Karbonatnyie novoobrazovaniya v pochvah: staryie i novyye problemy izucheniya [Carbonate pedofeatures in the soils: old and new learning problems]. In Pochvyi, biogeohimicheskie tsykly i biosfera (115-136). Moscow, KMK. [In Russian].*
  30. Kuzmishyna I.I. (2008). *Flora Volynskoi vysochyny, yii antropichna transformatsiia ta okhorona [Flora of the Volyn Upland, its anthropic transformation and protection]. Avtoref. of Candidate of Sciences' thesis in Biology. Lutsk. [In Ukrainian].*
  31. Matviishyna Zh.N. (1982). *Mikromorfologiya pleystotsenovykh pochv Ukrainy [Micromorphological of the Pleistocene soils of Ukraine]. Kyiv, Naukova Dumka. [In Russian].*
  32. Morozova T.D. (1981). *Razvitie pochvennogo pokrova Evropy v pozdnem pleystotsene [Soil cover development in Europe in the Late Pleistocene]. Moscow, Nauka. [In Russian].*
  33. Nechaev V.P. (1983). *Paleokriogennyye protsessy na teritorii Volyno-Podolskoy vozvyishennosti v verhnem pleystotsene [Paleocryogenic processes in the Volyn-Podollia Upland in the Upper Pleistocene]. Avtoref. of Candidate of Sciences' thesis in Geography. Moscow. [In Russian].*
  34. Palamarchuk N.Yu. (2011). *Paleoheohrafichni umovy formuvannia korshivskoho vykopnogo gruntovoho kompleksu Volyno-Podillia [The palaeogeographical condition of the formation of the Korshiv buried soil complex in Volyn-Podillia]. Avtoref. of Candidate of Sciences' thesis in Geography. Lviv. [In Ukrainian].*
  35. Parfeneva E.I., Yarilova E.A. (1977). *Rukovodstvo k mikromorfologicheskim issledovaniyam v pochvovedenii [Guide to micromorphological studies in the Soil Science]. Moscow, Nauka. [In Russian].*
  36. *Prostorovo-chasova korelyatsia paleogeografichnykh umov chetvertynnoho periody na teritorii Ukrainy [Spatial-temporal correlation of paleogeographical events of Quaternary in the area of Ukraine]. Ed. Zh.M. Matviishyna. Kyiv, Naukova dumka. [In Ukrainian].*
  37. Piassetkyi V.K. (2009). *Paleolit Volynskoi vysochyny i Maloho Polissia [Paleolithic of the Volyn Upland and the Male Polesie]. Rivne. [In Ukrainian].*
  38. Rogov V.V. (1989). *Mikrostroyeniye merzlykh gruntov [Microstructure of frozen soils]. Avtoref. of Doctor of Science' thesis in Geography. Moscow. [In Russian].*
  39. Romashkevich A.I., Gerasimova M.I. (1982). *Mikromorfologiya i diagnostika pochvoobrazovaniya [Micromorphology and identification of pedogenesis]. Moscow, Nauka. [In Russian].*
  40. Sirenko N.A., Turlo S.I. (1986). *Razvitiye pochv i rastitelnosti Ukrainy v plitsene i pleystotsene [Successions of soils and vegetation of Ukraine during the Pliocene and Pleistocene]. Kyiv, Naukova Dumka. [In Russian].*
  41. Tsatskin A.I. (1980). *Paleopedologicheskie rekonstruktsii dlya pozdnego pleystotsena yugo-zapada Russkoy ravniny [Paleopedological reconstructions for the Late Pleistocene of the southwest of the Russian Plain]. Avtoref. of Candidate of Science' thesis in Geography. Moscow. [In Russian].*
  42. Chervanov I.G. (1968). *Strukturnyy analiz basseyna r. Styr [The structure analysis of the Styr river basin]. Avtoref. of Candidate of Science' thesis in Geography. Kharkiv. [In Russian].*

43. Becze-Deak J., Langohr R., Verrecchia E.P. (1997). Small-scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for palaeoenvironmental reconstructions. *Geoderma*, 76 (3), 221-252.
44. Bertran P., Andrieux E., Antoine P., Deschodt L., Font M., Sicilia D. (2017). Pleistocene involutions and patterned ground in France: examples and analysis using a GIS database. *Permafrost and periglacial processes*, 28 (4), 710-725. <https://doi.org/10.1002/ppp.1957>
45. Bogucki A., Voloshyn P., Tomeniuk O. (2014). Zapadowosc pleistocenskich pozionow lessowo-glebowych i krio-genicznych Wolynia i Podolia [The colapsibility of Pleistocene loess-paleosols and cryogenic levels]. *Przegląd Geologiczny*, 62 (2), 553-559. [In Polish].
46. Bonchkovskiy O.S. (2019). Changes in pedogenic processes during Pryluky times (Late Pleistocene) in the central part of the Volyn Upland. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (2), 230-240. <https://doi.org/10.15421/111924>
47. Dolecki L. (2003). Struktury peryglacjalne w lessach trzech ostatnich cykli glacialnych (odra, warta, wisla) w Polsce, zachodniej Ukrainie i Rosji poludniowo-zachodniej [Periglacial structures in loesses of three last glacial cycles (Odranian, Wartanian, Vistulian) in Poland, western Ukraine and south-western Russian]. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 8, 65-92. [In Polish].
48. Fedorowicz S., Łanczont M., Bogucki A., Kusiak J., Mroczek P., Adamiec G., Bluszcz A., Moska P., Tracz M. (2013). Loess-paleosol sequence at Korshiv (Ukraine): Chronology based on complementary and parallel dating (TL, OSL), and litho-pedosedimentary analyses. *Quaternary International*, 296, 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.06.001>
49. Gerasimenko N. (2006). Upper Pleistocene loess-palaeosol and vegetational successions in the Middle Dnieper Area, Ukraine. *Quaternary International*, 149, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.018>
50. Jary Z. (2009). Periglacial markers within the Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in Poland and Western Ukraine. *Quaternary International*, 198 (1), 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.01.008>
51. Kemp R.A., Derbyshire E., Meng X. (2001). A high-resolution micromorphological record of changing landscapes and climate on the western Loess Plateau of China during oxygen isotope stage 5. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 170 (1), 157-169.
52. Konishchev V.N. (2015). The role of cryogenic processes in the formation of loess deposits. *Geography environment sustainability*, 3, 14-35. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2015-8-3-14-35>
53. Kusiak J., Łanczont M., Bogucki A. (2012). New exposure of loess deposits in Boyanychi (Ukraine). Results of termoluminescence analyses. *Geochronometria*, 39 (1), 84-100. <https://doi.org/10.2478/s13386-011-0054-1>
54. Łanczont M., Madeyska T., Bogucki A., Sytnyk O., Kusiak J., Frankowski Z., Komar M., Nawrocki J., Zogała B. (2014). Stratigraphic position and natural environment of the oldest Middle Palaeolithic in central Podolia, Ukraine: New data from the Velykyi Glybochok site. *Quaternary International*, 326-237, 191-212. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.045>
55. Łanczont M., Madeyska T., Sytnyk O., Bogucki A., Komar M., Nawrocki J., Hołub B., Mroczek P. (2015). Natural environment of MIS 5 and soil catena sequence along a loess slope in the Seret River valley: Evidence from the Pronyatyn Paleolithic site (Ukraine). *Quaternary International*, 365, 74-97. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.035>
56. Lindner L., Bogutsky A., Gozhik P., Marciniak B., Marks L., Łanczont M., Wojtanowicz J. (2002). Correlation of main climatic glacial-interglacial and loess-paleosol cycles in the Pleistocene of Poland and Ukraine. *Acta Geologica Polonica*, 52 (4), 459-469.
57. Lindner L., Gozhik P., Marks L., Łanczont M., Wojtanowicz J. (2006). Correlation of Pleistocene deposits in the area between the Baltic and Black Sea, Central Europe. *Geological Quarterly*, 50 (1), 195-210.
58. Nawrocki J., Polechońska O., Bogucki A., Łanczont M. (2006). Palaeowind directions recorded in the Youngest Loess in Poland and Western Ukraine as derived from anisotropy of magnetic susceptibility measurement. *Boreas*, 35 (2), 266-271. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01156>
59. Nawrocki J., Wojcik A., Bogucki A. (1996). The magnetic susceptibility record in the Polish and western Ukrainian loess-palaeosol sequences conditioned by palaeoclimate. *Boreas*, 25, 161-169.
60. Stoops G., Vepraskas M.J., Jongmans A.G. (2003). Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. *Wisconsin: Soil Science Society of America Madison*.
61. Vandenberghe J. (1988). Cryoturbations. In Clark (ed.), *Advances in Periglacial Geomorphology* (pp. 170-198). New York, Wiley.
62. Vandenberghe J. (2013). Cryoturbation structures. In S.A. Elias, C. Mock (eds), *Encyclopedia of Quaternary Science*, 430-435.
63. Van Vliet-Lanoë B. (2010). Frost action. In G. Stoops, V. Marcelino, F. Mees (eds), *Interpretation of Micromorphological features of soils and regoliths*. Elsevier, 81-108.

УДК 553.98

**Сергій Федорович Поверенний,**

старший наук. співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів,  
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [sergei-poverennyi@ukr.net](mailto:sergei-poverennyi@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-7836-6278>;

**Анатолій Іонович Лур'є,**

д. геол.-мінер. н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4836-5781>

## ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ ВТОРИННОЇ ПОРИСТОСТІ У ВІДКЛАДАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН ПІВДЕННОГО СХОДУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

На даний час більшість дослідників основні перспективи нафтогазоносності пов'язують з великими глибинами. Найважливішим компонентом проблеми нафтогазоносності великих глибин є проблема колекторів – з'ясування особливостей їх утворення, складу, властивостей. Проблема ця до теперішнього часу не має однозначного рішення. З точки зору класичної теорії стадіального катагенезу з глибиною первинна пористість закономірно і незворотно зменшується, і мова може йти тільки про те, наскільки швидко це відбувається. Тоді великі глибини постають зоною затухаючої нафтогазоносності без особливих перспектив. На допомогу приходить теорія накладеного катагенеза, яка показує, що існують процеси, що закономірно призводять до утворення вторинної пористості, вторинного колектора і тоді великі глибини являють собою відокремлену глибинну зону загонакопичення. Існує кілька різновидів накладеного катагенеза. Однією з найбільш розроблених є теорія утворення метасоматичного колектора в результаті гіпогенно-аллотигенного розуцільнення. В основі лежить вторгнення в період тектоно-магматичної активізації глибинних агресивних флюїдів в пласт певного сприятливого складу з вилугуванням одних і відкладенням інших компонентів. Передбачається, що цей процес супроводжується кристалізацією певних мінералів-індикаторів. Побудовані в ході даної роботи графіки відображають як закономірну зміну пористості даного типу пісковиків з глибиною, так і показують аномалію, пов'язану з якимось накладеним процесом, що допускає різні пояснення. Природно застосувати для вирішення питання мінерали-індикатори, проте проведений аналіз показує, що специфічних мінералів – індикаторів гіпогенно-аллотигенного розуцільнення поки не знайдено, всі мінерали, що залучаються, можуть бути інтерпретовані як мінерали одного із ступенів стадіального катагенезу. Сказане не спростовує можливість утворення вторинного метасоматичного колектора за наведеним механізмом, але довести його реалізацію за мінералами-індикаторами, відміченим у вивчених зразках не представляється можливим.

**Ключові слова:** вторинна пористість; вторинний колектор; метасоматичний колектор; розуцільнення; мінерали-індикатори; накладений катагенез; кварцитоподібні пісковики; нафтогазоносність великих глибин.

**С. Ф. Поверенний, А. І. Лур'є. К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ВТОРИЧНОЙ ПОРИСТОСТИ В ОТЛОЖЕНИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН ЮГО-ВОСТОКА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ.** В настоящее время большинство исследователей основные перспективы нефтегазоносности связывают с большими глубинами. Важнейшим компонентом проблемы нефтегазоносности больших глубин является проблема коллекторов – выяснение особенностей их образования, состава, свойств. Проблема эта до настоящего времени не имеет однозначного решения. С точки зрения классической теории стадияльного катагенеза с глубиной первичная пористость закономерно и необратимо уменьшается, и речь может идти только о том, насколько быстро это происходит. Тогда большие глубины предстают зоной затухающей нефтегазоносности без особых перспектив. На помощь приходит теория наложенного катагенеза, которая показывает, что существуют процессы, закономерно приводящие к образованию вторичной пористости, вторичного коллектора и тогда большие глубины представляют собой обособленную глубинную зону газонакопления. Существует несколько разновидностей наложенного катагенеза. Одной из наиболее разработанных является теория образования метасоматического коллектора в результате гипогенно-аллотигенного разуплотнения. В основе лежит вторжение в период тектоно-магматической активизации глубинных агрессивных флюидов в пласт определённого благоприятствующего состава с выщелачиванием одних и отложением других компонентов. Предполагается, что этот процесс сопровождается кристаллизацией определённых минералов - индикаторов. Построенные в ходе данной работы графики отражают как закономерное изменение пористости данного типа песчаников с глубиной, так и показывают аномалию, связанную с каким-то наложенным процессом, допускающим различное объяснение. Естественно применить для решения вопроса минералы-индикаторы, однако проведенный анализ показывает, что специфических минералов – индикаторов гипогенно-аллотигенного разуплотнения пока не найдено, все привлекаемые минералы могут быть интерпретированы как минералы одной из ступеней стадияльного катагенеза. Сказанное не опровергает возможность образования вторичного метасоматического коллектора по приведенному механизму, но доказать его реализацию по минералам - индикаторам, отмеченным в изученных образцах не представляется возможным.

**Ключевые слова:** вторичная пористость; вторичный коллектор; метасоматический коллектор; разуплотнение; минералы-индикаторы; наложенный катагенез; кварцитовидные песчаники; нефтегазоносность больших глубин.

**Вступ.** У теперішній час більшість дослідників основні перспективи нафтогазоносності Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) пов'язують з великими глибинами. Так, в роботі [1] О.Ю. Лукін зазначає, що «у міру подальшого глибокого і надглибокого буріння ресурси вуглеводнів (ВВ) глибокозалегаючих комплексів бу-

дуть неухильно зростати».

Найважливішим компонентом проблеми нафтогазоносності великих глибин є проблема колекторів – їх утворення, склад, властивості. Як сказано в роботі [2], на великих глибинах осадові породи, як правило, знаходяться на стадії глибинного катагенезу (МК<sub>3</sub> і більше), що веде до

практично повного зникнення первинної міжзернової пористості пісковиків – основних колекторів ДДЗ. При цьому на тлі переважання щільних, практично непроникних порід, зустрічаються окремі резервуари, що володіють або реліктами первинної, або новоутвореною вторинною пористістю і заповнені вуглеводнями, що знаходяться зазвичай під аномально високим пластивим тиском (АВПТ).

Збереженню первинної пористості на великих глибинах сприяє добре відомий комплекс факторів. Головними компонентами цього комплексу є раннє заповнення первинних пор ВВ, середньо-крупнозернистий, добре відсортований, мономінеральний кварцовий пісковик з мінімумом глинистого цементу (кварцовий ареніт), велика товщина шару, екранування колектора потужною соляною товщею. Подальшому збереженню пористості сприяє утворення АВПТ. Однак існування таких реліктових, залишкових резервуарів обумовлено рідкісним вдалим збігом обставин і зона глибинного катагенезу неминуче постає зоною загасаючої промислової газонасності, пов'язаної або зі згаданими реліктовими резервуарами, або з тріщинними резервуарами, утвореними поблизу зон активної тектоніки (глибинні розломи, інтенсивне складкоутворення).

Сказане визначає інтерес до процесів утворення вторинної пористості, яка відкриває нові перспективи для пошуків нафти і, переважно, газу на великих глибинах [2]. Згідно з поглядами багатьох дослідників, включаючи і авторів даної роботи [1,2], на великих глибинах з точки зору колекторських властивостей найбільш перспективні кварцові пісковики з регенераційно-кварцовим цементом – кварцитоподібні пісковики.

**Мета роботи:** встановити закономірності ущільнення кварцитоподібних пісковиків з глибиною, виявити аномалії в процесі ущільнення і спробувати інтерпретувати їх за допомогою мінеральних індикаторів гіпогенно-алотигенного розущільнення.

**Аналіз попередніх робіт.** Процес стадіального катагенезу висвітлений у класичних роботах А.Г. Коссовської і В. Д. Шутова [3,4], А.В. Копеліовича [5], М.В. Логвиненко [6], Г.Н. Перозіо [7], М.С. Долуди, С.В. Литвин і С.Д. Харченко [8,9], О.Ю. Лукіна [10] та інших авторів. Процеси накладеного катагенезу, в тому числі з утворенням вторинної пористості – у роботах Б.А. Лебедева [11], О.Ю. Лукіна [1,12], А.Д. Коробова [13,14], І. І. Зіненко та О. П. Зарицького [15] та інших авторів. Існує кілька моделей утворення вторинної пористості, деякі з них коротко розглянуті в роботі [2]. Найбільш опрацьовани-

ми представляються погляди О.Ю. Лукіна, що розділяються (наскільки можна судити з літератури) А. Д. Коробовим з співавторами. Викладемо основні положення цієї моделі, дотримуючись згаданої роботи [2].

За матеріалами О.Ю. Лукіна [1,12] первинна пористість уламкових порід істотно редукується вже на початку мезокатагенезу, на стадіях МК<sub>3</sub> і вище первинна пористість редукована вже повністю і промислова газонасність великих глибин практично повністю пов'язана з вторинною пористістю. Так, на глибинах більше 4-5 км існування піщаних колекторів цілком обумовлено розвитком вторинної пористості, утворення якої відбувається за рахунок розчинення карбонатного, глинистого, регенераційно-кварцового цементів і часткового виносу уламкового кварцу класичної частини. Розчинення і винос одних мінералів, супроводжується утворенням інших. Вторинні колектори глибоких горизонтів О.Ю. Лукін розглядає як вторинні метасоматити по катагенетично перетвореним уламковим породам. Причини метасоматозу криються в періодичному вторгненні високонапірних, високотермальних флюїдів, агресивних як до карбонату, так і до силікатів, і до кварцу. У періоди тектономагматичних активізацій, обумовлених короткочасними збуреннями мантійних плюмів, відбувається розкриття флюїдоупорів, різко зростає проникність тріщинуватих зон різного походження, відбувається природний гідророзрив найбільш міцних різниць порід, кислотна хвиля метасоматозу, що йде першою, обумовлює інтенсивне розчинення карбонатів. Падіння тиску глибинних флюїдів обумовлює зниження парціального тиску CO<sub>2</sub> і підвищення рН середовища. Кислотна хвиля змінюється лужною, при цьому відбувається розчинення кварцу і силікатів, але можлива кристалізація карбонату.

Погляди О.Ю. Лукіна розділяє А.Д. Коробов з співавторами [13,14], що розглядає явища розущільнення в тектонічно активних зонах Західного Сибіру. Наводячи як приклад породи шеркалінської пачки (верхи нижньої юри) Талінського родовища він вказує, що вони стають високоякісними колекторами в результаті глибокого гідротермального перетворення і являють собою дикіт-каолініт-кварцові метасоматити. На додаток до поглядів О.Ю. Лукіна на послідовність подій в ході метасоматозу, він стверджує, що в період тектономагматичної активізації на ділянках максимальних гідротермальних змін в розломних зонах головну роль грали високотермальні розчини, багаті не тільки CO<sub>2</sub>, але і SO<sub>3</sub>. Однак надходження сірчано-кислотних розчинів відбувалося тільки на максимумі гідротермаль-

ної діяльності, а CO<sub>2</sub> надходив у породи на всіх етапах активізації [2].

Автори даної роботи кварцовим пісковикам з регенераційно-кварцовим цементом, як найбільш перспективним колекторам великих глибин, присвятили статті [16,17,18,19], де розглядалися в основному пісковики горизонтів С-5 і В-25-26 Котелевсько-Березівської зони з точки зору часткового збереження ними первинної пористості. Підвищений інтерес до пісковиків Котелевсько-Березівської зони пояснюється специфікою району робіт, що включає південний схід і частково центр ДДЗ, яка полягає в тому, що відклади нижнього карбону (де в основному розвинені породи, що нас цікавлять) в приосьовій зоні йдуть на великі глибини і доступні тільки по бортах і в прибортових зонах. На бортах вони залягають на порівняно невеликих глибинах і по колекторських властивостях не надто відрізняються від пісковиків з глинистим і карбонатним цементом, відповідно не викликаючи особливого інтересу. При розбурюванні Котелевського і Березівського родовищ, де нижній карбон лежить глибоко, відмінність властивостей пісковиків кидається в очі і змушує шукати пояснення.

Практично завжди, коли мова йде про вторинні колектори великих глибин ДДЗ, в центрі уваги виявляються кварцові пісковики з регенераційно-кварцовим цементом, що поєднується з безцементним зчленуванням зерен, і з підлеглим за кількістю каолінітовим і карбонатним цементом, відносні кількості яких варіюють по вертикалі і горизонталі. Для стислості можна називати їх ортокварцитами [20] або кварцитоподібними пісковиками [21], розрізняючи в них щільну і пористу різницю. У разі, якщо справедлива описана вище модель гіпогенно-алогенетичного розущільнення, їх (слідом за [13,14]) можна віднести до формації вторинних кварцитів. Ці пісковики схильні як до максимально тривалого збереження первинної пористості, так і до утворення вторинної пористості в умовах, описаних у роботах [1,12,13,14]. Варто відзначити, що в обох випадках, незважаючи на величезну роль постседиментаційних процесів, локалізація цих пісковиків, в кінцевому рахунку, обумовлена фаціальними факторами, оскільки вторинний колектор розвивається на субстраті, утворення якого підпорядковане фаціальному контролю.

**Виклад основного матеріалу.** Спробуємо узагальнити наявні матеріали по пісковиках такого типу, розкритих в південно-східній і центральній частині ДДЗ на різних родовищах і різних глибинах.

У межах центральної та південно-східної частин ДДЗ кварцові пісковики з регенераційно-кварцовим цементом досить широко поширені у

відкладах нижнього карбону. Тут вони переважно входять до складу теригенної вугленосно-бокситоносної континентальної, теригенно-кременисто-карбонатної морської та вугленосної поліфаціальної формації О. Ю. Лукіна [10]. У керні зустрічаються в основному по північному борту, рідше – в приосьовій частині і по південному борту. За розглянутий період з 2001 по 2017 роки вони були підняті в 74 свердловинах на 42 родовищах і площах. На північному борту ці пісковики розкриті досить близько до поверхні (починаючи з 1156 м), в осьовій зоні йдуть на глибину, де вони розкриті на глибинах до 6292 м.

У найбільш типовій формі вони зустрічаються в родовищах північного борту (Скворцівське, Юліївське, Острівське, Граківське, Чкалівське) і в прилеглих до них родовищах північної прибортової зони (Котелевське, Березівське, Степове, Коломацьке, Максальське).

В ході польових досліджень пісковики з регенераційно-кварцовим цементом зазвичай виділяються візуально і за фізичними властивостями. У разі чистого, добре розвиненого регенераційно-кварцового цементу він ідентифікується досить впевнено, в разі змішаних кварцово-глинистих і кварцово-карбонатних цементів чітко відрізнити їх не завжди вдається, так як розшліфовується далеко не кожен піщаний шар. Відкинувши сумнівні випадки і зібравши воедино всі дані про пористість відібраних пісковиків можна графічно зобразити характер зміни пористості пісковиків даного типу з глибиною.

На рис. 1 приведена **максимальна пористість** кожного піщаного шару, віднесена до покрівлі цього шару. Всього використані дані по 232 кернах, відібраних в різних родовищах на глибинах від 1156 до 6292 м, максимальна пористість по яких варіює від 0,2 до 27,3%. Можливо, відносити було б краще до середини інтервалу відбору, але при такому масштабі глибин це не мало серйозного значення, а роботи додавало істотно. На рисунку видна пряма лінія, що обмежує максимальні значення пористості на різних глибинах.

Добре помітно, що максимальна пористість пісковиків даного типу рівномірно убиває з глибиною і на глибині близько 7,5 км сходиться нанівець. На цьому тлі спостерігаємо викид значень пористості, обумовлений пісковиками горизонту В-25-26 Котелевського та Березівського родовищ на глибинах майже 6 км. Цікаво, що другі пісковики, що розглядаються в наших роботах – горизонту С-5 (глибина 4582 м) – лежать в межах, обмежених лінією максимальних значень.

Графік можна інтерпретувати так, що стадіальний катагенез, ступінь якого наростає з глибиною, обумовлює закономірне зменшення пористості даного типу пісковиків, причому іноді

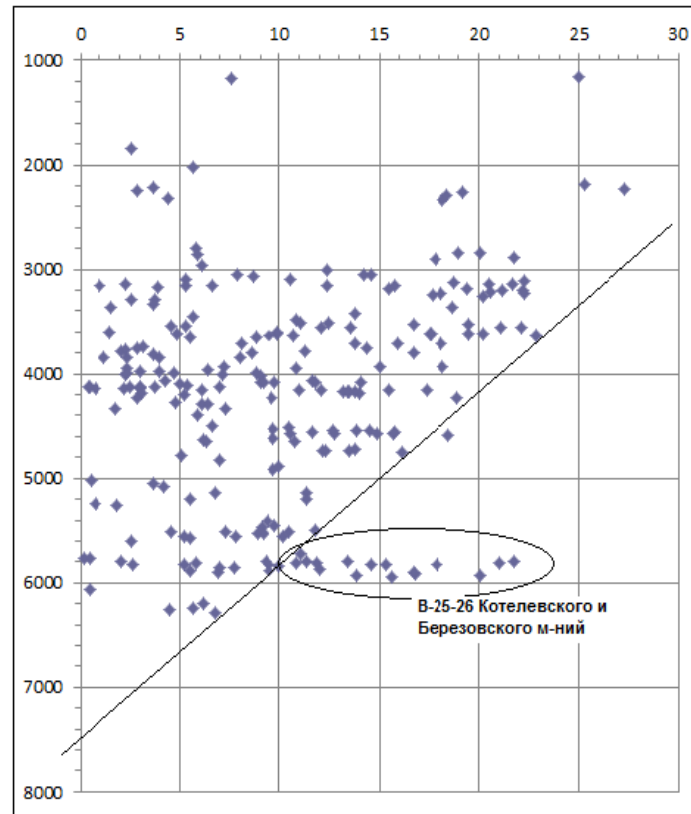


Рис. 1. Зміна максимальної пористості пісковиків з регенераційно-кварцовим цементом з глибиною по керну

це закономірне ущільнення переривається дією якогось накладеного процесу. У роботі [18] нами був зроблений висновок про те, що ці «пісковики відносяться до окремого петрографічного типу порід, досить широко розповсюджені у нижньому карбоні. Особливістю цього типу порід є нетипова поведінка в катагенезі порівняно з пісковиками з глинистим цементом, для яких розроблені схеми катагенетичних перетворень. Породи цього типу значно краще чинять опір зовнішнім впливам і можуть зберігати добрі ємнісно-фільтраційні властивості на великих глибинах». Тепер можна уточнити, що хоча ущільнення даних пісковиків в типовому випадку відбувається не зовсім так, як пісковиків з глинистим цементом (рис. 2), але в результаті досягаються приблизно ті ж значення пористості. Так, на глибині 6 км, згідно з графіком рис. 1, пісковики з регенераційно-кварцовим цементом мають пористість до 9-10%, але ж і пісковики з глинистим цементом, згідно з графіком рис. 2, так само можуть мати пористість до 8-9%.

На рис. 2 наведено графік зміни максимальної пористості для 328 шарів пісковиків з істотно глинистим цементом, відібраних на тих же родовищах. Максимальні значення пористості варіюють від 0,6 до 40%, глибини – від 220 до 6200 м. Як видно з графіка на рис. 2, дана сукупність

може бути апроксимована кривою експоненціальної функції, але, можливо, більш правильним було б прийняти апроксимацію ламаною лінією: пряма до 4 км і друга, круто нахилена пряма – від 4 км і глибше. Тоді можна говорити про те, що нижче 4 км породи ущільнюються за іншим законом. В цілому, криві ущільнення пісковиків з глинистим цементом схожі з кривими ущільнення глин, а криві ущільнення пісковиків з регенераційно-кварцовим цементом – з кривими ущільнення пісковиків з карбонатним цементом.

Залежні від складу цементу максимальні відмінності пористості для пісковиків, що ущільнюються в ході стадіального катагенезу, будуть пов'язані з інтервалом 4-5 км (інтервал залягання горизонту С-4-5 Котелевсько-Березівської зони), де кварцитовидні пісковики можуть мати пористість до 18-19%, а глинисті – до 10-12%.

Можна допустити, що незважаючи на петрографічну схожість, пісковики горизонту С-4-5 можуть мати збережену в ході стадіального катагенезу первинну пористість, а пісковики нижнього віку – вторинну пористість.

Як буде змінюватися **максимальна проникність** пісковиків з регенераційно – кварцовим цементом показано на рис. 3. Використані дані по 229 верствам, коливання проникності становлять від 0 до 6149 мД, коливання глибин – від



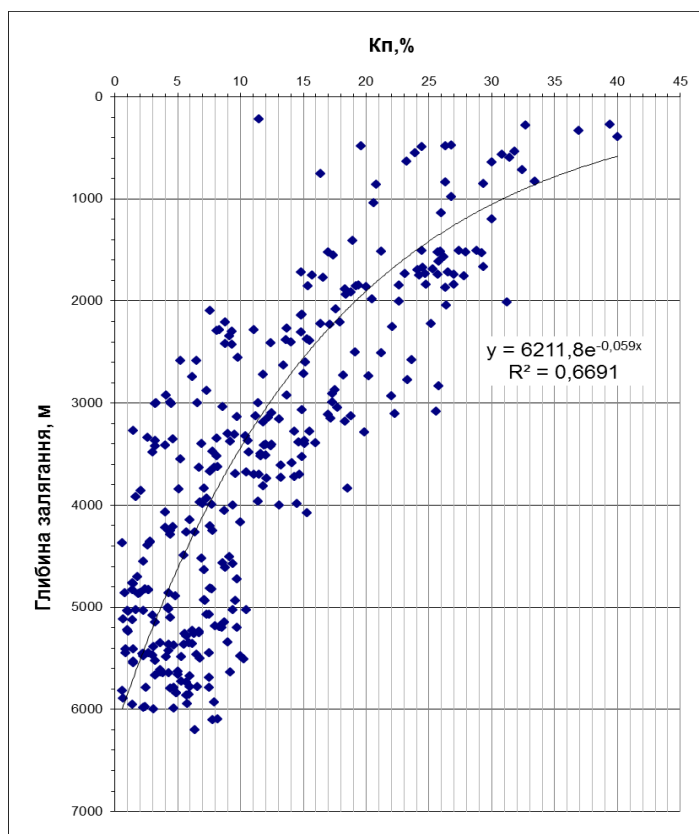


Рис. 2. Зміна максимальної пористості пісковиків з глинистим цементом з глибиною по керну

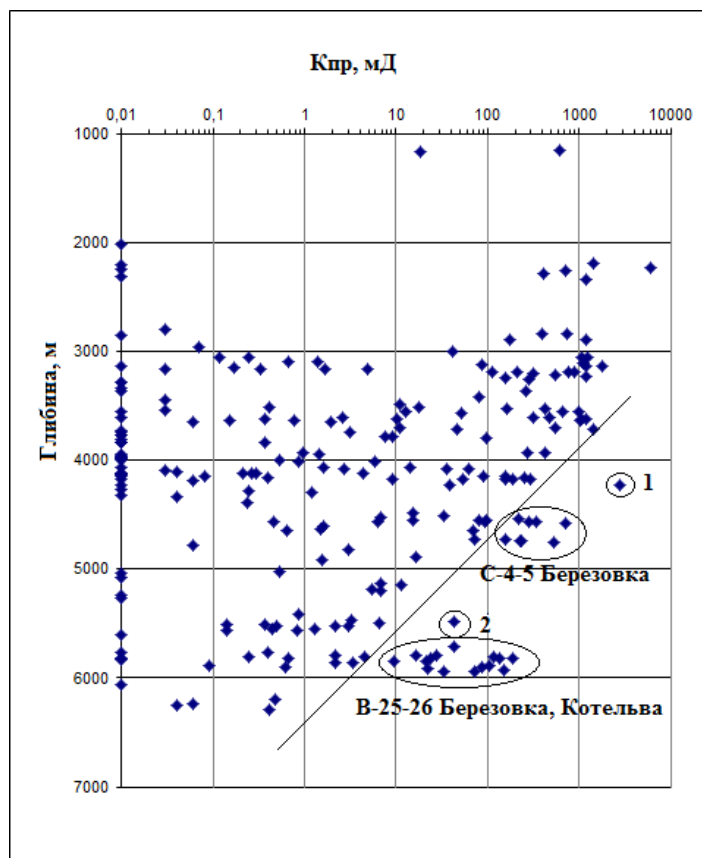


Рис. 3. Зміна максимальної проникності пісковиків з регенераційно-кварцовим цементом з глибиною по керну. 1 – Наріжнлянська 34,С1v1, баз. гор, 2-Коломак 53, С-5

1156 до 6292 м. Так само як на рис. 1, проведена лінія, що обмежує максимальні значення газопроницкості.

Якщо на рис. 1 можна спостерігати один добре видимий пік, то на рис. 3 таких піків вже два (не рахуючи одиничних значень 1 і 2). Якщо для В-25-26 все зрозуміло – більшій пористості відповідає більша проникність – то по відношенню до горизонтів С-4-5 виникає питання: чому не виділяючись по пористості, вони різко виділяються по проникності? У роботі [18] відзначено, що в горизонті С-5 значно сильніше розвинена мікротріщинуватість. Не додаючи майже нічого до пористості, вона помітно підвищує проникність.

**Обговорення викладеного матеріалу.** Отже, судячи з наведених графіків, пісковики горизонту В-25-26 (на відміну від пісковиків горизонту С-4-5) являють собою аномальне явище на загальному тлі. Аномалію можна пояснювати двояко: або раннім заповненням істотно первинної пористості ВВ (десь на глибині 3-3,5 км), або пізнім утворенням на великих глибинах під впливом будь-якого накладеного фактору, з порівняно пізнім заповненням ВВ утвореної вторинної пористості. На першій точці зору стояли автори даної роботи, друга найкраще описана в роботах О.Ю. Лукіна, погляди якого були коротко викладені вище.

Як вже було сказано вище, петрографічно пісковики горизонтів В-25-26 і С-4-5 дуже схожі. Постає питання про мінеральні індикатори цього різновиду накладеного катагенеза – гіпогенно – аллотигенного розуцільнення за О.Ю. Лукіним. Вторинний колектор, що утворюється в результаті, в роботах [1,12] кваліфікується як метасоматит. Однак з наведених описів неясно, в чому, власне, в цьому процесі проявляється метасоматоз? Розчинення агресивними флюїдами нестійких до них компонентів з утворенням вторинної пористості, згодом частково заповненої осадовими на лужній стадії мінералами, не є метасоматоз. Треба думати, що продуктом метасоматоза є каолінит, але він може і просто кристалізуватися з порових розчинів в кислому середовищі. Припускаючи, що участь тут метасоматичного процесу не розкрито просто через обмежений обсяг статті, скористаємося все ж терміном гіпогенно-алогенетичне розуцільнення.

Мінеральні індикатори стадіального катагенезу, тобто мінерали, які є показниками певної стадії перетворення або послідовної зміни стадій, описані в численних роботах геологів, які вивчали постседиментаційні перетворення: А.Г. Коссовська і В.Д. Шутов [3,4], А.В. Копеліович [5], М.В. Логвиненко [6], Г.Н. Перозіо [7], М.Є. Долуда, С.В. Литвин і С.Д. Харченко [8,9], О.Ю.

Лукін [10] та інші. Найбільш популярним індикатором стадій катагенезу є органічна речовина. Потім, в якості найважливіших мінеральних індикаторів виступають глинисті мінерали. Добре відомий перехід монтморилоніту в гідрослюду або хлорит, заміна одного політипу гідрослюд іншим, перехід каолініту в дикіт, накрит і пірофіліт. У деяких розрізах важливу роль відіграють цеоліти. Ці три компоненти: органічна речовина, глинисті мінерали і цеоліти можуть дати безперервний ряд стадійних перетворень. Порівняно обмежену роль при виділенні стадій катагенезу відіграють біотит, аутигенні модифікації польових шпатів, кварцу, карбонатів.

Що розглядається в якості мінеральних індикаторів гіпогенно-аллотигенного розуцільнення? За О.Ю. Лукіним для утворення вторинного колектора потрібна вихідна олігоміктова порода, яка в ході стадіального катагенезу перетворилася в мономінерально-кварцову, дуже міцну, але крихку породу, яка виступає в ролі субстрату для формування вторинного колектора. Тектонічні напруги викликають в цьому субстраті «дилатантну тріщинуватість» і обумовлюють наявність характерних кристалооптичних властивостей – наприклад, хвилясте, хмарне або мозаїчне згасання. Потім кислотна хвиля флюїду, що впроваджується, розчиняє все, що може (первинні карбонати, інші нестійкі компоненти), подальша лужна забезпечує можливість кристалізації вторинного карбонату, який частково перебиває тільки що створені вторинні пори. Характерними мінеральними індикаторами є карбонатна, сульфідна, баритова, фосфатна і титанова мінералізація. Універсальними індикаторами є триклінний каолінит і дикіт [1]. На шляхах глибинних висхідних потоків відкладаються частинки самородних металів, природних сплавів і інтерметалідів.

На додаток до наявних у авторів петрографічних шліфів як пористої, так і щільної різниці кварцитовидних пісковиків, при виконанні даної роботи був використаний метод електронної растрової мікроскопії. З різновікового (переважно нижній карбон – візе і серпухов) кернавого матеріалу, відібраного на Котелевському, Березівському, Степовому, Чкалівському та інших родовищах ДДЗ були взяті зразки, які були переглянуті і сфотографовані Я. Лукіним в Чернігівському відділенні УкрНДГРІ на растровому мікроскопі РЕМ-106 з мікроаналізатором. Автори даної роботи провели інтерпретацію та аналіз отриманого електронно-мікроскопічного матеріалу в рамках поставленого завдання. Результати цього аналізу наведені нижче.

Крупнокристалічний, добре розкриталізований каолінит (імовірно, каолінит-дикіт) присут-

ній і в пісковиках горизонту С-5, і в пісковиках горизонту В-25-26 (рис. 4).

У класичній роботі А.В. Копелівича [5] виділена стадія регресивного катагенезу, що ускладнює нормальний поступальний хід постсидиментаційних перетворень. Стадія складається з двох етапів: каолінізації і карбонатизації. Обидва

етапи пов'язані з перебудовою структурного плану території, утворенням нових областей живлення і розвантаження, і пов'язаної з цим активізації гідрогеологічних процесів. Каолінізація викликається кислими водами, що потрапляють у породи **зверху**, у міру їх нейтралізації відбувається відкладення карбонату. Утворюється круп-

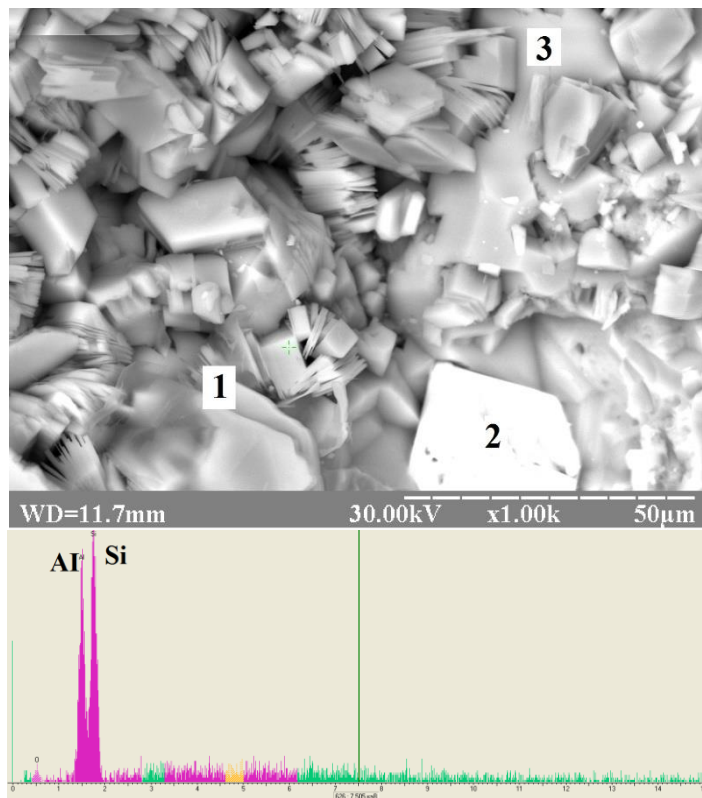


Рис. 4. Крупнолузкати каолініт і кристал  $TiO_2$ , Березівська 203, С-5, 4749,7-4757,3 м, №45076. 1 - каолініт, 2 -  $TiO_2$ , 3 - кварц. РЕМ-106, фото Я. Лукіна

нокристалічний каолініт-дікіт, що не потрапляє в стандартну «глинисту» фракцію. Робота [5] стосувалася в основному древніх (PR) аркозових пісковику в складі не дуже потужної і слабо дислокованої товщі. В ході каолінізації утворюється добре пророблений аркозовий пісковику, що зберіг каркас, у якому все нестійке (калішпат, плагіоклаз, біотит, мусковіт, уламки порід крім кварцитів) замінено на каолініт з утворенням вторинної пористості (до 20%), яка виникає за рахунок об'єму винесеного при каолінізації матеріалу. Відомо, що утворення каолініту відбувається при винесенні майже половини вихідної речовини. У міру нейтралізації порових розчинів починає відкладатися карбонат. На виході маємо мономінеральний кварцовий пісковику з регенераційно-кварцовим і карбонатно-каолініт-дікітовим цементом, утворений поза зв'язком з «гідротермальними проявами магматогенного походження». У цій же роботі [5] наводиться посилання на роботу В.Д. Шутова, який встановив розвиток каолініт-дікіту в порах між регенера-

ваними зернами кварцу в мономінеральних кварцових пісковиках каверинської свити рифея Пачелмського прогину.

Григорчук К.Г. в роботі [22], пояснюючи походження вторинної пористості в турнейських континентальних пісковиках ДДЗ, також пов'язував її з каолінізацією під час предвізейської перерви в седиментації.

У роботі [3] А.Г. Косовської і В. Д. Шутова виділялася фація первинних кварц-каолінітових піщаних порід, що на стадії початкового епігенезу мали успадкований склад, на стадії глибинного – кварц-дікітовий, а на стадії метагенезу – кварц-пірофілітовий склад. У цій роботі не розглядалися процеси утворення вторинної пористості, але виділена фація первинних порід, аналогічних тим, що утворюють субстрат для вторинного колектору і показано, що кварц-каолінітові пісковики на стадії глибинного стадіального катагенезу перетворюються в кварц – дікітові. В умовах геосинклінального розрізу Західного Верхояння такі пісковики зустрічалися

мабуть не часто і ніяких даних по структурі каолініту або дикіту в роботі немає. Однак у роботі [8], що стосується вже стадіального катагенезу порід південного сходу ДДЗ, відзначено, що в зоні глибинного катагенезу «мелкочешуйчатий каолінит замінюється крупночешуйчатими, хорошо окристалізованими агрегатами».

Таким чином, присутність великокристалічного каолініт-дикіту багатьма дослідниками розглядається як нормальний етап стадіального катагенезу і для утворення його немає необхідності залучати мантийні флюїди.

Що з іншими індикаторами, згаданими в роботах [1,12]? Характерні кристалооптичні властивості – хвилясте, хмарне або мозаїчне згасання зустрічаються в нижньому карбоні практично в кожному пісковикі і навряд чи можуть служити індикаторами чого-небудь, крім того, що материнська для даного пісковика порода колись зазнала значні механічні напруги. З іншого боку, в пісковиках глибоких горизонтів Березівського, Котелевського, Степового, Більського родовищ досить багато кварцу з нормальним згасанням.

Кварцовий склад, як і регенераційно-кварцовий цемент, є характерним для гаданих метасоматитів. Лише зрідка зустрічаються польові шпати (слабку розкладеність деяких з них можна пояснити відсутністю контакту з поровим розчином), ще рідше мусковіт. Але не менш однорідний кварцовий склад мають щільні кварцитовидні пісковики з пористістю 1-2%, без всяких слідів розущільнення.

Міцність породи – так, ці породи зазвичай мають максимальну міцність в розрізі, але близьку або навіть більшу міцність можуть мати окварцовані карбонати [18].

Карбонатна мінералізація – так, в С-5 переважає сидерит (рис. 5), в В-25-26 – кальцит [2], обидва присутні в цементах зазвичай в невеликих кількостях (2-3%), але зрідка утворюють прошарки невеликої потужності, де карбонатність досягає 20,1%. Але карбонатизація разом з каолінізацією в роботах [5,22] розглядається як етапи стадіального катагенезу.

Сульфідна мінералізація – присутня в досліджуваних пісковиках нижнього карбону (а також

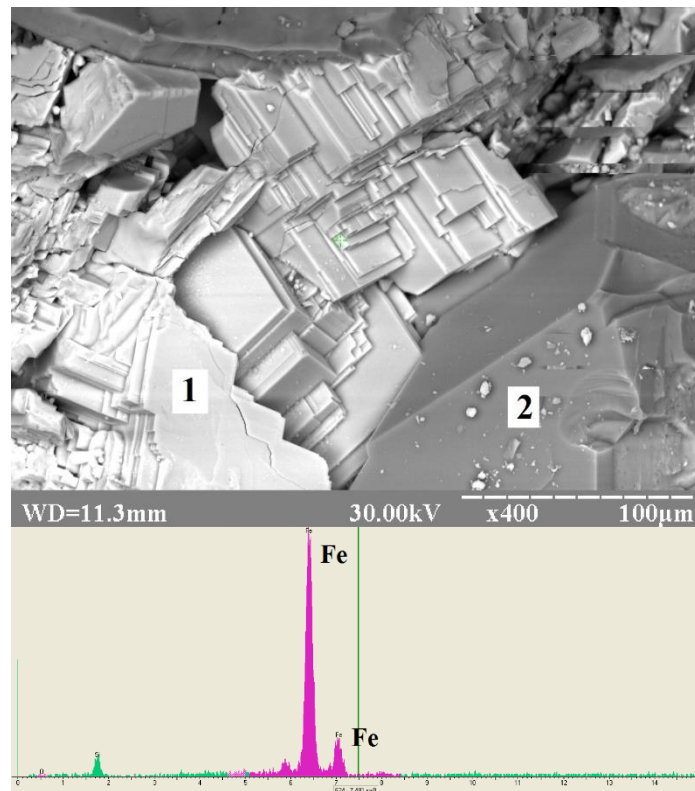


Рис. 5. Сидерит в цементі пісковика. Березівське род., св. № 203, С-5,479,7-4757,3 м, № 45065. 1 - сидерит, 2 - кварц. РЕМ-106, фото Я. Лукіна

в пісковиках інших типів різного віку) на різних глибинах. Зустрічаються частіше пірит (рис.6), рідше сфалерит (рис. 7), халькопірит (рис.8). Більш-менш індивідуалізовані кристали зустрічаються по всьому продуктивному розрізу, на великих глибинах часто зустрічаються фрамбої-

ди піриту. Але для утворення розсіяних сульфідів не обов'язково залучати мантийні розчини. Утворення сульфідів на великих глибинах цілком може відбутися за рахунок домішок, що вивільнюються при масовому розчиненні кварцу за принципом Рікке [5].

Те ж барит - він дійсно зустрічається і в нижньому, і в верхньому карбоні родовищ, що нас цікавлять, причому не тільки на великих глибинах (рис. 9) і не тільки в кварцитоподібних пісковиках (Березівська 124, С31, 3410-3419м). Але знову ж таки, по [5] він може бути утворений за рахунок цельзіанової молекули ( $Ba[Al_2Si_2O_8]$ ) польових шпатів. Сам по собі цельзіан ( $Ba[Al_2Si_2O_8]$  до 90%), як і гіалофан ( $Ba[Al_2Si_2O_8]$  до 40%), дуже рідкісний, але домішка барію в польових шпатах досить часта, хоч і невелика (1-2%) [23]. Але і бариту в пісковиках не багато.

Фосфатна мінералізація-кристал одного з різновидів апатиту – в рамках даної роботи відзначена тільки у відкладах верхнього карбону Березівського родовища (рис. 10). Можливо, при більш масових аналізах буде відзначено її присутність і в відкладах нижнього карбону, але вже зі сказаного видно, що вона навряд чи грає роль специфічного мінерального індикатора метасоматичного колектора.

Титанова мінералізація – в розглянутих пісковиках зустрічається і рутил, і брукіт, і анатаз, і лейкоксен (рис. 4, 11), причому не тільки на великих глибинах (Чкалівська 8, С-5, 2847-2854 м.). Мінерали титану в не меншій кількості присутні і в пісковиках з карбонатно-глинистим цементом верхнього карбону Березівського родовища (Березівська 124, С31, 3410-3419 м). Але в літературі всі вони описані як аутигенні мінера-

ли без будь-якого зв'язку з глибинними гідротермами [24 та ін.]. Утворюються вони або за рахунок розкладання уламкових рудних – ільменіту, титаномagnetиту, сфену ( $CaTi[SiO_4]O$ ), або за рахунок титану, концентрованого органічною речовиною, яка в достатній мірі зустрічається в вугленосних відкладах.

З приводу частинок самородних металів, природних сплавів і інтерметалідів – ці частинки присутні в невеликій кількості, дуже малі і ідентифікуються зазвичай тільки за допомогою електронного мікроскопа, за допомогою об'єднаного з ним мікроаналізатора. Отриману картину не завжди вдається достовірно інтерпретувати і через те, що неоднаково добре реєструються різні елементи, і через те, що результат аналізатора обумовлений тим, які еталони закладені при розробці його програм. Внаслідок цього, на нашу думку, результат сильно залежить від того, що хоче побачити інтерпретатор.

Згідно [13,14] в якості індикатора можна розглядати альбітізацію плагіоклазів. При вилугуванні звільняється Na, який при підвищених температурах заміщає Ca уламкового плагіоклазу. Привнесу Na немає, для утворення альбіту Na береться з вихідного плагіоклазу. Ca частково йде в розчин, утворюється дірчастий, кородований кристал – псевдоморфоза альбіту по вихідному, більш основному плагіоклазу. Автори вказують, що процес дуже характерний для гідро-

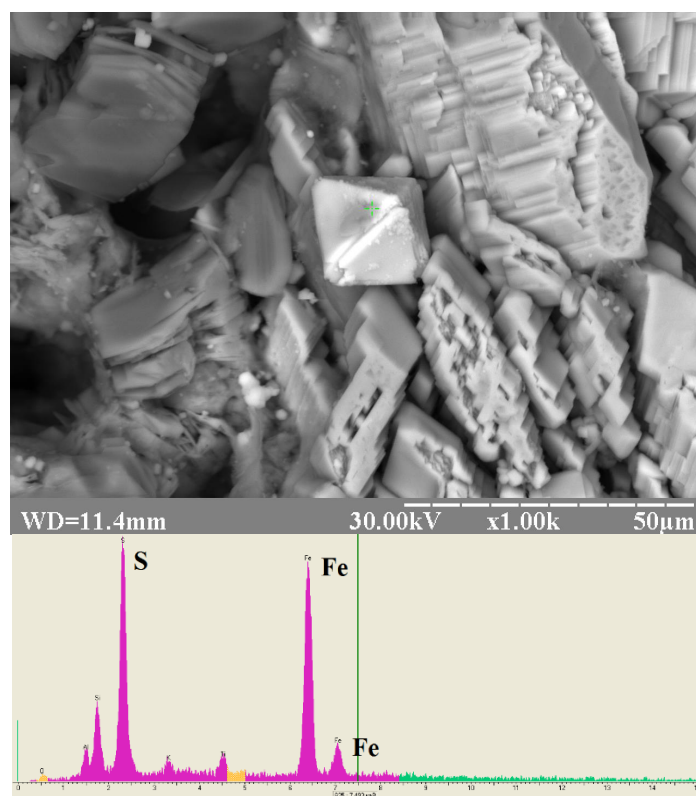


Рис. 6. Октаедричний кристал піриту, Березівська св. №203, С-5, 4749,7-4757,3 м, №45065. РЕМ-106, фото Я. Лукіна

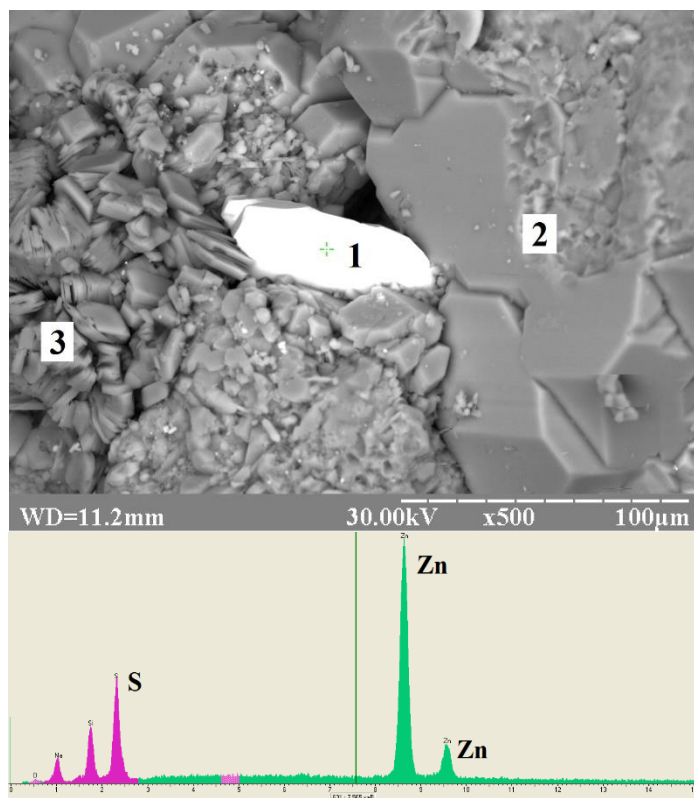


Рис. 7. Сфалерит, Березівська св. №203, С-5, 4749,7-4757,3 м, № 45076.  
1 - сфалерит, 2 - кварц, 3 - каолінит. РЕМ-106, фото Я. Лукіна

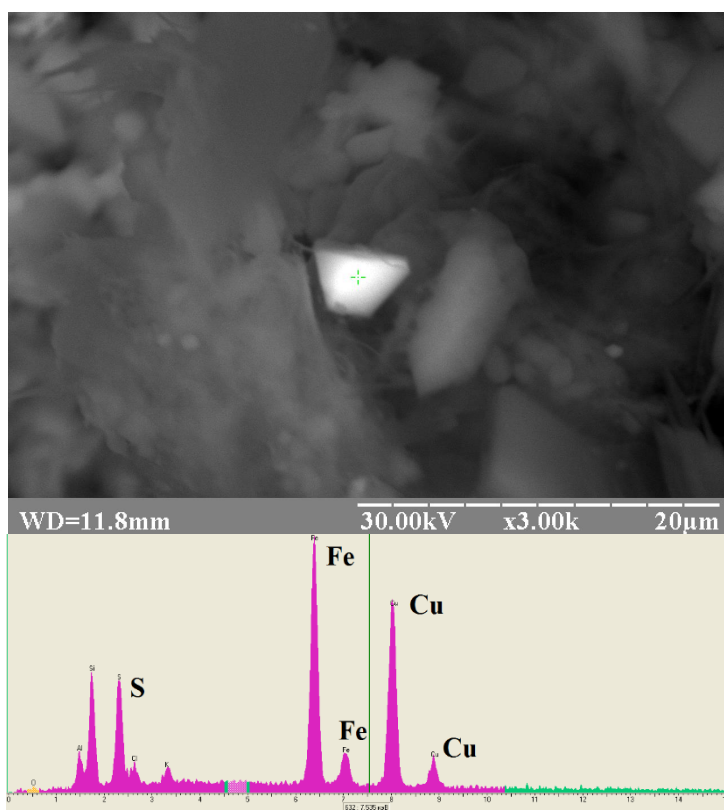


Рис. 8. Халькопірит. Чкалівська св. №8, С-5, 2847-2854 м, №50364.  
РЕМ-106, фото Я. Лукіна

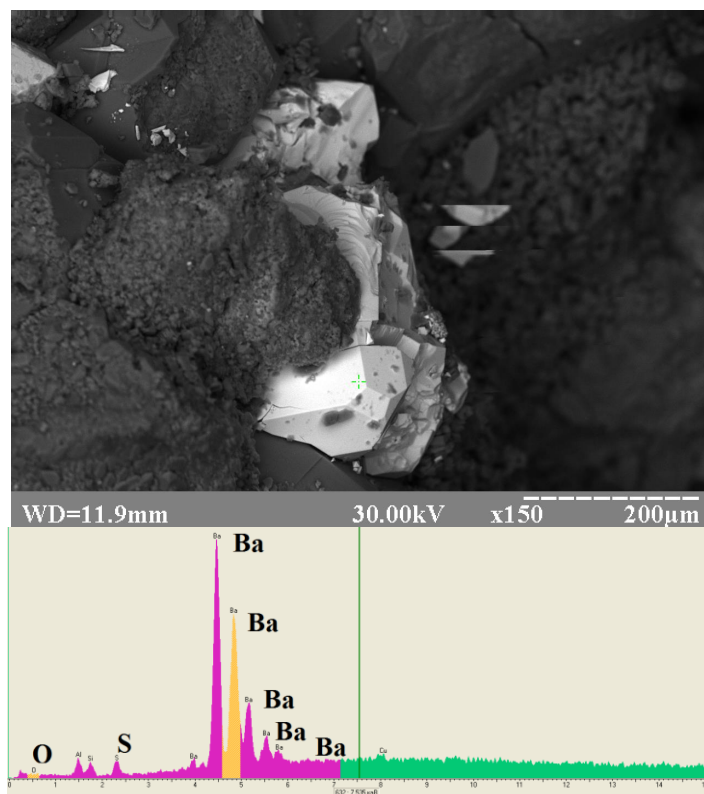


Рис. 9. Барит. Чкалівська св. №8, С-5, 2892-2900 м, №50364.  
РЕМ-106, фото Я. Лукіна

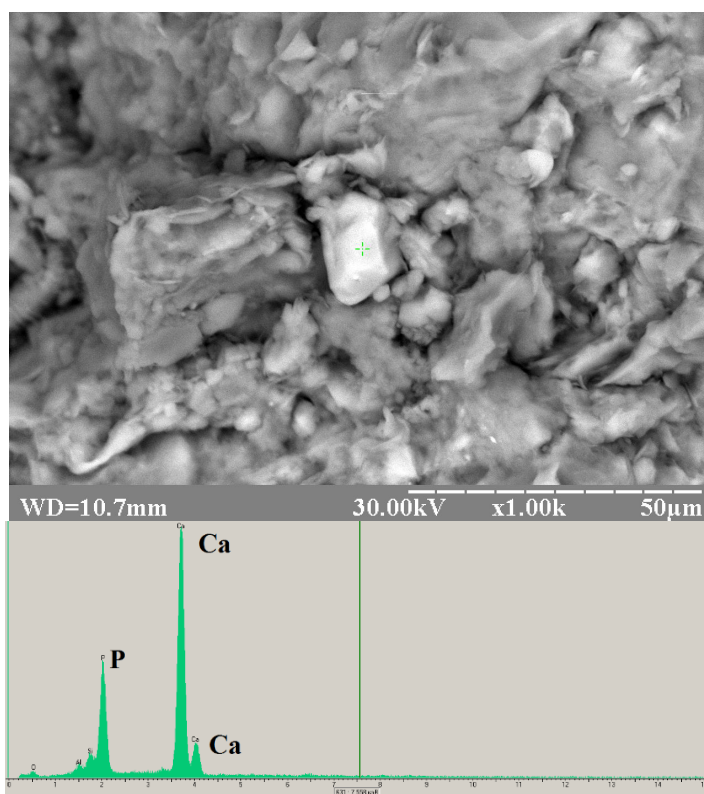


Рис. 10. Фосфат. Один з різновидів апатиту. Березівська св. №124, С<sub>3</sub><sup>1</sup>, 3410-3419 м, № 45296.  
РЕМ-106, фото Я. Лукіна

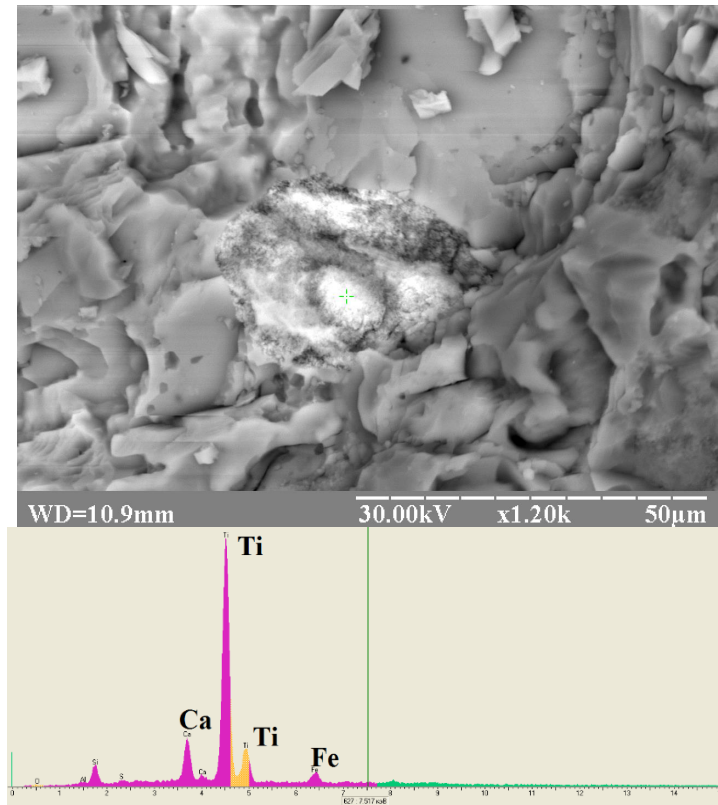


Рис. 11. Лейкоксен, імовірно за сфеном. Березівська св. №150, В-25-26, 5936-5938 м, РЕМ – 106, фото Я. Лукіна

термального мінералоутворення. Однак цей процес в деталях описаний А.В. Копеліовичем і для нормальної ходи прогресивного стадіального катагенеза. У роботі [5] процес розглядається як заміщення в решітці  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Al}^{3+}$  на  $\text{Na}^+$  і  $\text{Si}^{4+}$  в результаті чого анортитова молекула заміщається альбітовою. Причиною він бачить високий тиск, при якому така заміна енергетично вигідна (іонні радіуси  $\text{Na}^+$  і  $\text{Si}^{4+}$  менше іонних радіусів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Al}^{3+}$ ).  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Al}^{3+}$ , що вивільняються, можуть витрачатися на утворення цеолітів або йдуть в порові розчини. Згідно зі спостереженнями А.В. Копеліовича, процес альбітизації йде в лужному середовищі, при порівняно невисоких тисках і температурах, під впливом звичайних пластових вод, збагачених натрієм і кремнієм.

У роботах А.Д. Коробова і Л. А. Коробової [13,14] мова йде про те, що під впливом агресивних гідротермальних вод утворюються метасомати, яких можна віднести до середньотемпературної (600-400°C) гідротермально-метасоматичної формації пропілітів або вторинних кварцитів. Саме по собі це дуже цікаво, оскільки закономірності гідротермально-метасоматичних процесів рідко в явному вигляді співвідносяться з теорією катагенезу.

Щодо розглянутих пісковиків про пропілітизацію говорити не доводиться, немає ні актинолітів, властивих високотемпературній фації, ні

епідоту, властивого середньотемпературній фації, ні цеолітів, властивих низькотемпературній фації, ні всюдисущого для пропілітів хлориту. Майже завжди властивий пропілітам пірит присутній, але в невеликій кількості і його присутність, як і присутність лейкоксену, може бути пояснена і без залучення агресивних мантійних гідротерм.

Формація вторинних кварцитів, мінералогія яких дійсно подібна мінералогії наших пісковиків, виявлена в районі Красноленінського склепіння, де розташоване Талинське родовище. Формація утворена по тріасових ріолітах і пластам ЮК<sub>10-11</sub> шеркалінської пачки, що перекривають їх, датуються верхнім лейасом, і розвинені в ізольованих западинах, не пов'язаних з центральним для Західного Сибіру Колтогорско-Уренгойським рифтом. Пісковики шеркалінської пачки в гранично переробленому вигляді являють собою дикіт-каолініт-кварцові метасомати, з високими колекторськими властивостями. Автори виділяють дві фації вторинних кварцитів: кварц-(дикіт-каолінітову) і (дикіт-каолініт)-кварцову. У першому випадку переважає каолінізація, у другому – окварцювання.

Кварц-(каолініт-дикітова) фація зосереджена в зонах тріщинуватості, що оперяє великі розломи, січні до фундаменту і чохла. Грає роль віддаленість від розлому і проникність первинної по-



роди. Формується в два етапи. На першому йде розчинення і метасоматичне заміщення нестійких мінералів каолінітом і дикітом. Поблизу розлому в найбільш проникних породах зазвичай формується дикіт, далі – обидва мінерали зі змінним успіхом, але в цілому на стадії домінує дикіт. Іноді присутній адуляр – структурний різновид калієвого польового шпату ( $K[AlSi_3O_8]$ ), найбільш вільний від домішок і типовий для високотемпературних гідротермальних кварцових жил. Характерна висока дисперсність всіх новоутворених мінералів. На зміну розчиненню приходить формування великокристалічного дикіт-каолінітового цементу, в меншій мірі-регенерація уламкового кварцу. Дикіт-каолінітового цементу в цілому небагато (1-2%), причому обох мінералів приблизно порівну.

(Дикіт-каолініт)-кварцова фація приурочена до великих розривів і локалізована в найбільш проникних породах. Формується в два етапи, спочатку повне кислотне розчинення нестійких компонентів, потім гідротермальне окварцювання. На ранньому етапі переважає розчинення мінерального матриксу і карбонатного цементу по системах мікро - і макротріщин, по яких циркулюють гарячі розчини. Розчиняється все, що може, причому має місце повний винос продуктів за межі зони. З'являються вторинні порожнечі, розширюються тріщини. Характерна присутність аутигенного тонкодисперсного кварцу, що складає глинисту фракцію (менше 0,01). Активне розчинення змінюється регенерацією уламкового кварцу і розвитком мікродруз в пустотах вилугування. У значно меншій мірі формується каолініт-дикітовий поровий цемент.

Зауважимо, що і тут ми не бачимо характерних для формації вторинних кварцитів високоглиноземистих мінералів, які могли б служити індикаторами: корунд, алуніт, діаспор, андалузит, серицит. Присутні тільки каолініт-дикіт, рутил і пірит, присутність яких, як показано вище, не обов'язково пов'язана з гідротермальним процесом.

Породи формації вторинних кварцитів набувають проникності від перших сотень мД, до 4,5 Д при пористості від 16 до 23%. При таких параметрах їх можна розглядати як вторинні суперколектори.

Якщо пропілітам багато авторів приписують площинне поширення, то вторинні кварцити однозначно пов'язані з системами живильних розломів [25]. У цьому випадку цікаво оцінити розміри ореолу метасоматичних змін, відстань від живильного розлому. У разі якщо зміни розвиваються уздовж ізольованої тріщини в слабо-

тріщинуватих і малопроникних породах, потужність ореолу коливається від десятків сантиметрів до перших метрів. Якщо живильний канал являє собою чітку тектонічну зону, разом з оперяючими тріщинами і ділянками тріщинуватості, зміни йдуть від головного структурного елемента на десятки і сотні метрів [25]. У нашому випадку за живильні розломи можна прийняти скиди, що ускладнюють північно-східні крила структур Котелевсько-Березівської зони і розташовані уздовж довгої осі складок разом з системою більш дрібних оперяючих скидів. Якщо врахувати попередньо розвинену тріщинуватість, що забезпечує високу проникність кварцитовидних пісковиків, то дійсно, метасоматичні процеси можуть повністю охопити ці пісковики в межах площ продуктивних горизонтів Котелевсько- і Березівського родовищ.

**Висновки.** 1. Як видно з наведеного матеріалу, на тлі закономірного ущільнення пісковиків даного типу розущільнення кварцитовидних пісковиків горизонтів В-25-26 нижнього карбону представляється аномалією, яку природно пояснити впливом будь-якого накладеного процесу, наприклад, проявом гіпогенно-алотигенного розущільнення.

2. Проведений аналіз показує, що специфічних мінеральних індикаторів гіпогенно-алотигенного розущільнення поки не знайдено. Значить, чисто петрографічними методами переконливо довести що аномальна пористість утворена вторгненням мантійних агресивних флюїдів не представляється можливим. Це не означає, що цього процесу не могло бути, це означає, що цьому поки немає однозначних доказів, так як відмічені в наших зразках мінералогічні особливості допускають різні тлумачення.

3. В рамках можливого гідротермального процесу пористість і особливості мінерального складу, в тому числі і мінеральні індикатори вторинного колектора, повинні змінюватися в залежності від відстані до живильного розлому і проникності колектора. Характерною рисою всіх метасоматитів є метасоматична зональність.

4. Питання утворення вторинної пористості має величезне практичне значення для оцінки перспектив газоносності: або великі глибини представляються зоною закономірно загасаючого газонакопичення, або – зоною з хорошими перспективами нафтогазоносності де закономірно виникають вторинні колектори, тобто відокремленою глибинною зоною газонакопичення [15], що має свої специфічні джерела живлення, колектора і покришки.

#### *Література*

1. Лукин А.Е. Нефтегазоносные коллекторы глубоководноугольных комплексов центральной части Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / А.Е. Лукин, Н.В. Щукин, О.И. Лукина, Т.М. Пригарина //

- Геофизический журнал, 2011. – № 1. – Т. 33. – С. 3-27.
2. Поверенний С.Ф. Распространение карбонатных цементов в песчаниках юго-востока ДДВ в связи с возможностями образования в них вторичной пористости на больших глубинах [Текст] // С.Ф. Поверенний, А.И. Лурье / Геологический журнал, 2020. – №3. – С. 3-16.
  3. Коссовская А.Г. Проблема эпигенеза. В сб. Эпигенез и его минеральные индикаторы [Текст] / А.Г. Коссовская, В.Д. Шутов. – М.: Наука, 1971. – 170 с.
  4. Коссовская А.Г. Характер и распределение минеральных новообразований в разрезе мезо-палеозойских отложений западного верховья [Текст] / А.Г. Коссовская, В.Д. Шутов / В сб. О вторичных изменениях осадочных пород // Труды АН СССР, вып.5. – М., 1956. – С. 135-168.
  5. Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы [Текст] / А.В. Копелиович / Труды геологического инс-та. – Вып. 121. – М.: Наука, 1965. – 349 с.
  6. Логвиненко Н.В. Постдиагенетические изменения осадочных пород [Текст] / Н.В. Логвиненко. – Л.: Наука, 1968.
  7. Перозин Г.Н. Вторичные изменения мезозойских отложений центральной и юго-восточной частей Западно-Сибирской низменности [Текст] / Г.Н. Перозин / В кн. Постседиментационные преобразования осадочных пород Сибири. – М.: Наука, 1967.
  8. Долуда М.Е. Вторичные изменения палеозойских отложений Днепровско-Донецкой впадины и перспективы нефтегазоносности на больших глубинах [Текст] / М.Е. Долуда, С.В. Литвин, С.Д. Харченко, О.Ф. Рябых и др. // ВНИИЭМС. – М., 1970. – 46 с.
  9. Долуда М.Е. Региональный эпигенез каменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины и его влияние на коллекторские свойства [Текст] / М.Е. Долуда, С.В. Литвин, С.Д. Харченко // Литология и полезные ископаемые, 1968. – №4.
  10. Лукин А.Е. Формации и вторичные изменения каменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины в связи с нефтегазоносностью [Текст] / А.Е. Лукин. – М.: Недра, 1977. – 102 с.
  11. Лебедев Б.А. Геохимия осадочных процессов в осадочных бассейнах [Текст] / Б.А. Лебедев. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.
  12. Лукин А.Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа [Текст] / А.Е. Лукин // Геол. журнал. 2002. – №4. – С. 15-32.
  13. Коробов А.Д. Рифтогенно-осадочный комплекс платформ как порождение гидротермально-метасоматических процессов в породах переходного комплекса и осадочного чехла [Текст] / А.Д. Коробов, Л.А. Коробова, А.Т. Колотухин и др. // Учёные записки Казанского ун-та, т. 153, кн. 4, 2011. – С. 183-198.
  14. Коробов А.Д. Пульсирующий стресс, как отражение тектоногидротермальной активизации и его роль в формировании продуктивных коллекторов чехла (На примере Западной Сибири) [Текст] / А.Д. Коробов, Л.А. Коробова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2011, №6. – С. 4-12.
  15. Зиненко И.И. Глубинные зоны газонакопления ДДВ [Текст] / И.И. Зиненко, А.П. Зарицкий // Нефтяная и газовая промышленность, 1992., №1. – С. 12-15.
  16. Лагутин А.А. Условия формирования и литофизические свойства пород-коллекторов глубокозалегающего продуктивного горизонта В-25-26 Котелевского месторождения по данным изучения керна [Текст] / А.А. Лагутин, С.Ф. Поверенний // Питання розвитку газової промисловості України. – Випуск XXX. – Харків, 2002. – С. 69-75.
  17. Діц Р.А. Буріння інтервалів з аномально низькою буримістю [Текст] / Р.А. Діц, М.В. Боровік, С.Ф. Поверенний // Питання розвитку газової промисловості України. Геологія газових і газоконденсатних родовищ; Зб. наук. праць. – УкрНДІГаз. – Харків, 2013. – Вип. XXXXI. – С.79-85.
  18. Поверенний С.Ф. Пісковики з аномально низькою буримістю [Текст] / С.Ф. Поверенний, Р.А. Діц, М.В. Боровік, О.В. Піддубна // Нафтогазова галузь України, №3, 2014. – С. 23-26.
  19. Поверенний С.Ф. Піщаний колектор горизонту В-25-26 Березівського газоконденсатного родовища за даними вивчення керну [Текст] / С.Ф. Поверенний, С.В. Кривуля, А.И. Лур'є, О.В. Піддубна // Вісник ХНУ ім. Каразіна №46, 2017. – С. 23-36. [https://doi.org/10.26565/2410\\_7360\\_2017\\_46\\_03](https://doi.org/10.26565/2410_7360_2017_46_03)
  20. Петтиджон Ф.Дж. Пески и песчаники [Текст] / Ф.Дж. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер / Серия «Науки о Земле», т. 67. – М.: Мир, 1967. – 365 с.
  21. Геологический словарь [Текст] / Изд. 2 испр. В 2 т. – М.: Недра, 1978.
  22. Григорчук К.Г. Эволюция коллекторских свойств в литогенезе [Текст] / К.Г. Григорчук // Геология нефти и газа, №7, 1989.
  23. Годовиков А.А. Минералогия [Текст] / А.А. Годовиков. – М.: Недра, 1975. – 520 с.
  24. Ренгартен Н.В. Минералы титана в угленосных осадочных породах [Текст] / Н.В. Ренгартен / В сб. «О вторичных изменениях осадочных пород» // Труды АН СССР, вып.5. – М., 1956. – С. 125-134.
  25. Омеляненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. [Текст] / Б.И. Омеляненко. – М.: Недра, 1978. – 216 с.

**Внесок авторіє:** Поверенний С.Ф. – аналіз літературних і фактичних даних, постановка проблеми, концепція роботи, методологія, складання таблиць і побудова графіків, формулювання висновків; Лур'є А.И. – аналіз, оцінка і обговорення вихідних матеріалів і отриманих результатів, формулювання висновків.

**Sergey Poverenniy,**

Senior Researcher, Ukrainian Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [sergei-poverenniy@ukr.net](mailto:sergei-poverenniy@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-7836-6278>;

**Anatoliy Lurye,**

Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,  
V. N. Karazin Kharkiv University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4836-5781>

**ON THE QUESTION OF CREATION OF SECONDARY POROSITY IN LARGE-DEPTH  
SEDIMENTS OF THE SOUTH-EAST OF THE DNEPROVSK-DONETSK DEPRESSION**

**Introduction.** Currently, most researchers associate the main prospects of oil and gas potential with great depths. The most important component of the problem of oil and gas potential at great depths is the problem of reservoir availability. This problem still has no clear solution. From the point of view of the classical theory of stadal catagenesis, with depth, the primary porosity naturally and irreversibly decreases, and we can only talk about how quickly this happens. In this case, large depths appear to be a zone of fading oil and gas potential without any special prospects. The theory of superimposed catagenesis comes to the rescue, which shows that there are processes that naturally lead to the formation of secondary porosity, a secondary reservoir, and then large depths represent a special deep zone of gas accumulation.

According to the views of many researchers, including the authors of this work, quartz sandstones with regenerative quartz cement – quartzite sandstones - are the most promising in terms of reservoir properties at great depths.

**The aim of the work** is to establish the regularities of compaction of quartzite sandstones with depth, to identify anomalies in the compaction process and to try to interpret them using mineral indicators of hypogenic-allogenic porosity formation – one of the varieties of superimposed catagenesis of great depths.

**Previous study.** The theory of metasomatic reservoir formation as a result of hypogenic-allogenic porosity formation is one of the most developed. It is based on the penetration of a certain favorable composition of deep aggressive fluids into the reservoir during the period of tectonic-magmatic activation with leaching of some components and deposition of others. It is assumed that this process is accompanied by the crystallization of certain indicator minerals.

**Result of work.** The graphs constructed in the course of this work reflect both a natural change in the porosity of this type of Sandstone with depth, and show an anomaly associated with some superimposed process that allows for different explanations. It is natural to use indicator minerals to solve the problem, but the analysis shows that specific indicator minerals of hypogenic-allogenic decompression have not yet been found, and all the minerals involved can be interpreted as minerals of one of the stages of stadal catagenesis. This does not disprove the possibility of the formation of a secondary metasomatic reservoir by the above mechanism, but it is not possible to prove its implementation by the indicator minerals noted in the studied samples.

**Relevance.** The question of the formation of secondary porosity is of great practical importance for assessing the prospects of gas content: either large depths are represented by the area of naturally decreasing gas accumulation, or the area of naturally occurring secondary reservoirs with good oil and gas prospects, which can be distinguished as a separate deep zone with its own specific power sources, reservoirs and cap rocks.

**Keywords:** secondary porosity; secondary reservoir; metasomatic reservoir; indicator minerals; superimposed catagenesis; quartzite sandstones; oil and gas potential of great depths.

**References**

1. Lukin A.E., Shchukin N.V., Lukina O.I., Prigarina T.M. (2011). Oil and gas reservoirs of deep-lying lower Carboniferous complexes in the Central part of the Dnieper-Donets basin. *Geophysical journal*, 1, 33, 3-27.
2. Poverenniy S.F., Lure A.J. (2020). Distribution of carbonate cements in the sandstones of the South-East of the DDV due to the possibility of secondary porosity formation in them at great depths. *Geological journal*, 3, 3-16.
3. Kossovskaya A.G., Shutov V.D. (1971). The problem of epigenesis. In the collection "Epigenesis and its mineral indicators". M., Nauka, 70.
4. Kossovskaya A.G., Shutov V.D. (1956). The nature and distribution of mineral neoplasms in the section of meso-Paleozoic deposits of the Western Verkhoyansk region. In the collection on secondary changes in sedimentary rocks. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, M., 135-168.

5. Kopeliovich A.V. (1965). Epigenesis of ancient strata of the South-West of the Russian platform. *Proceedings of the geological Institute*. 121, M., Nauka, 349.
6. Logvinenko N.V. (1968). *Postdiagenetic changes in sedimentary rocks*. L., Nauka.
7. Perozio G.N. (1967). Secondary changes in Mesozoic deposits of the Central and South-Eastern parts of the West Siberian lowland. In the book. *Post-sedimentary transformations of Siberian sedimentary rocks*. M., Nauka.
8. Doluda M.E., Litvin S.V., Harchenko S.D., Ryabyh O.F. i dr. (1970). Secondary changes in Paleozoic deposits of the Dnieper-Donets basin and prospects for oil and gas potential at great depths. *VNIIEMS*, M., 46.
9. Doluda M.E., Litvin S.V., Harchenko S.D. (1968). Regional epigenesis of Carboniferous deposits of the Dnieper-Donets basin and its influence on reservoir properties. *Lithology and mineral resources*, №4.
10. Lukin A.E. (1977). Formations and secondary changes in Carboniferous deposits of the Dnieper-Donets basin due to oil and gas potential. M., Nedra, 102.
11. Lebedev B.A. (1992). *Geochemistry of sedimentary processes in sedimentary basins*. L., Nedra, 239.
12. Lukin A.E. (2002). Hypogenic-allogenic decompression is a leading factor in the formation of secondary reservoirs of oil and gas. *Geological journal*. 4, 15-32.
13. Korobov A.D., Korobova L.A., Kolotuhin A.T., Muhin V.M., Eliseeva L.V. (2011). Rift-sedimentary complex of platforms as a result of hydrothermal-metasomatic processes in rocks of the transition complex and sedimentary cover. *Scientific notes of the Kazan University*. 153, 4, 183-198.
14. Korobov A.D., Korobova L.A. (2011). Pulsating stress as a reflection of tectonohydrothermal activation and its role in the formation of productive reservoirs of the cover (on the example of Western Siberia). *Geology, Geophysics and development of oil and gas fields*, 6, 4-12.
15. Zinenko I.I., Zarickij A.P. (1992). Deep zones of gas accumulation of DDV. *Oil and gas industry*, 1, 12-15.
16. Lagutin A.A., Poverennyi S.F. (2002). Conditions of formation and lithophysical properties of reservoir rocks of the deep-lying productive horizon B-25-26 of the Kotelevsky field according to core study data/ *Issues of development of the gas industry in Ukraine*. Release XXX, Harkiv, 69-75.
17. Dic R.A., Borovik M.V., Povyeryennij S.F. (2013). Drilling intervals with abnormally low drillability. *Issues of development of the gas industry in Ukraine*. *Geology of gas and gas condensate fields; SB. nauk. trudov UkrNDIGaz*, Kharkiv, XXXHI, 79-85.
18. Povyeryennij S.F., Dic R.A., Borovik M.V., Pidubna O.V. (2014). Sandstones with abnormally low drillability. *Oil and gas industry of Ukraine*, 3, 23-26.
19. Povyeryennij S.F., Krivulya S.V., Lur'ye A.J., Pidubna O.V. (2017). Sand reservoir of the b-25-26 horizon of the Berezovsky gas condensate field according to core study data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national University*, 46, 23-36. <https://doi.org/10.26565/2410.7360.2017.46.03>
20. Pettidzhon F.Dzh., Potter P., Siver R. (1967). *Sands and sandstones*. Earth Science series, 67. Mir, M., 365.
21. *Geological dictionary* (1978). izd. 2 ispr. V 2 t. Nedra, M.
22. Grigorchuk K.G. (1989). Evolution of reservoir properties in lithogenesis. *Oil and gas Geology*, 7.
23. Godovikov A.A. (1975). *Mineralogy*. M., Nedra, 520.
24. Rengarten N.V. (1956). Titanium minerals in coal-bearing sedimentary rocks. In sat. *Secondary changes in sedimentary rocks*. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 5, M., 125-134.
25. Omelyanenko B.I. (1978). Near-ore hydrothermal changes in rocks. M., Nedra, 216.

УДК 551.781.3:581.526.325(477.8)

**Ірина Сергіївна Супрун,**

мол. наук. співробітник, Інститут геологічних наук НАН України,

вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна,

e-mail: [supun\\_is@ukr.net](mailto:supun_is@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4703-7543>;

**Аїда Сергіївна Андрєєва-Григорівич,**

д. геол.-мін. н., ст. наук. співробітник, Інститут геологічних наук НАН України,

e-mail: [aida\\_andreeva-grigorovich@ukr.net](mailto:aida_andreeva-grigorovich@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2925-8043>

## АСОЦІАЦІЇ НАНОПЛАНКТОНУ ПАЛЕОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Викладено узагальнюючі результати вивчення палеоценового вапняного нанопланктону флішевих відкладів Українських Карпат за останні 55 років. Дослідження проводились переважно на стратотипових та опорних розрізах палеоцену в різних структурно-фаціальних зонах Зовнішніх та Внутрішніх покривів Карпат. В результаті вивчення нових даних та аналізу опублікованого матеріалу охарактеризовано систематичний склад комплексів нанопланктону та закономірні зміни асоціацій у палеоцені. У відкладах Карпат вперше встановлено повну послідовність нанопланктонних зон сучасної Міжнародної шкали. У Зовнішніх (Флішевих) Карпатах визначено нанозони у верхньострийській підсвіті Скибового та Бориславсько-Покутського покривів – *Markalius inversus* / *Biantholithus sparsus* (NP1), *Cruciplacolithus tenuis* (NP2), *Chiasmolithus danicus* (NP3) та *Ellipsolithus macellus* (NP4 – нижня частина), у ямненській світі – *Ellipsolithus macellus* (NP4 – сама верхня частина), *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) у яремчанському горизонті, *Discoaster mohleri* (NP7) у битківських верствах, *Heliolithus riedelii* (NP8), *Discoaster multiradiatus* (NP9 – нижня частина); у верхнеберезнянській підсвіті Дуклянського покриву – *Chiasmolithus danicus* (NP3), у гнилицькій світі Чорногорського покриву – *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), в урдинській світі Свидовецького покриву – *Markalius inversus* (NP1). У Внутрішніх Карпатах нанозони встановлено у нижньометовській підсвіті Вежанського покриву – *Biantholithus sparsus* (NP1), *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6), *Heliolithus riedelii* (NP8), у сушманецькій світі Монастирецького покриву – *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) та *Tribrachiatius contortus* (NP10 – ранній іпр). Уточнено стратиграфічне положення комплексів нанопланктону та показане співвідношення нанозон із зонами за форамініферами та диноцистами. Зональні комплекси нанопланктону Українських Карпат скорельовані із зонами нанофосилій данського, зеландського та танетського ярусів Міжнародної стратиграфічної шкали. Результати проведених комплексних робіт дали змогу деталізувати та модернізувати стратиграфічну схему палеоценових відкладів Карпатського регіону.

**Ключові слова:** нанопланктон, біостратиграфія, світа, кореляція, палеоцен, північний та південний схили Українських Карпат.

**А. С. Андрєєва-Григорівич І. С. Супрун. АССОЦИАЦИИ НАННОПЛАНКТОНА ПАЛЕОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕННИЙ УКРАИНСКИХ КАРПАТ.** Изложены обобщенные результаты изучения палеоценового известкового наннопланктона флишевых отложений Украинских Карпат за последние 55 лет. Исследования проводились преимущественно на стратотипических и опорных разрезах палеогена в различных структурно-фациальных зонах Внешних и Внутренних покровов Карпат. В результате изучения новых данных и анализа опубликованного материала охарактеризованы систематический состав комплексов наннопланктона и закономерные изменения ассоциаций в палеоцене. В отложениях Карпат впервые установлена полная последовательность наннопланктонных зон современной Международной шкалы. Во Внешних (Флишевых) Карпатах определены наннозоны в верхнестрийской подсвете Скибового и Бориславско-Покутского покровов – *Markalius inversus* / *Biantholithus sparsus* (NP1), *Cruciplacolithus tenuis* (NP2), *Chiasmolithus danicus* (NP3) та *Ellipsolithus macellus* (NP4 – нижня частина), в ямненской свите – *Ellipsolithus macellus* (NP4 – самая верхняя часть), *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) в яремчанском горизонте, *Discoaster mohleri* (NP7) в битковских слоях, *Heliolithus riedelii* (NP8), *Discoaster multiradiatus* (NP9 – нижняя часть); в верхнеберезнянской подсвете Дуклянского покрова – *Chiasmolithus danicus* (NP3), в гнилицькой свите Чорногорского покрова – *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), в урдинской свите Свидовецкого покрова – *Markalius inversus* (NP1). Во Внутренних Карпатах наннозоны установлены в нижнеметовской подсвете Вежанского покрова – *Biantholithus sparsus* (NP1), *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6), *Heliolithus riedelii* (NP8), в сушманецькой свите Монастирецького покрова – *Fasciculithus tyraniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) и *Tribrachiatius contortus* (NP10 – ранний ипр). Уточнено стратиграфическое положение комплексов наннопланктона и показано соотношение наннозон с зонами по фораминиферам и диноцистам. Зональные комплексы наннопланктона Украинских Карпат скоррелированы с зонами нанофосиллий датского, зеландского и танетского ярусов Международной стратиграфической шкалы. Результаты проведенных комплексных работ позволили детализировать и модернизировать стратиграфическую схему палеоценовых отложений Карпатского региона.

**Ключевые слова:** наннопланктон, биостратиграфия, свита, корреляция, палеоцен, северный и южный склон Украинских Карпат.

**Постановка проблеми.** Нові геологічні та палеонтологічні дані, що з'явилися під час модернізації стратиграфічних схем палеоценових відкладів України, а також удосконалення Міжнародної (глобальної) шкали геологічного часу (2004, 2012, 2016 р.), дозволили з нових позицій підійти до вирішення дискусійних питань стратиграфії палеоцену, а саме деталізувати вік та кореляцію, обґрунтувати діахронність меж бага-

тьох палеоценових стратиграфічних підрозділів за нанофосиліями. В результаті досліджень таксономічного складу і просторово-часового поширення нанопланктону численних розрізах Зовнішніх та Внутрішніх покривів Карпат встановлено етапи його розвитку протягом палеоцену та визначені кореляційні рівні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчення нанофосилій в Українських Карпатах

розпочали у 60-х рр. минулого століття А.С. Андреева-Григорович і А.М. Романів. Біостратиграфія палеоцену за нанопланктоном ґрунтується на нових матеріалах з урахуванням попередніх даних [1, 3–5, 10, 12, 13, 16–19, 22]. Найбільш повно нанофосилії охарактеризовані у Скибовому покриві.

Застосування мікропалеонтологічного методу вивчення нанопланктону в практиці біостратиграфічних досліджень та результати проведених комплексних робіт у Карпатах і на півдні України дали змогу розробити регіональну стратиграфічну шкалу палеоенових відкладів Південних регіонів СРСР [2], деталізувати та моде-

рнізувати стратиграфічну схему палеоенових відкладів Українських Карпат.

**Формулювання мети статті.** Палеоенові відклади є основною з перспективних на вуглеводні флішевою формацією кайнозойського нафтогазоносного комплексу Карпат. Необхідною передумовою підвищення ефективності геологопошукових робіт є деталізація стратиграфії регіону. Мета статті полягає в удосконаленні біостратиграфії цих відкладів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Палеоенові відклади поширені у Зовнішніх Карпатах (рис. 1) у Бориславсько-Покутському, Скибовому, Дуклянському, Чорногорському та

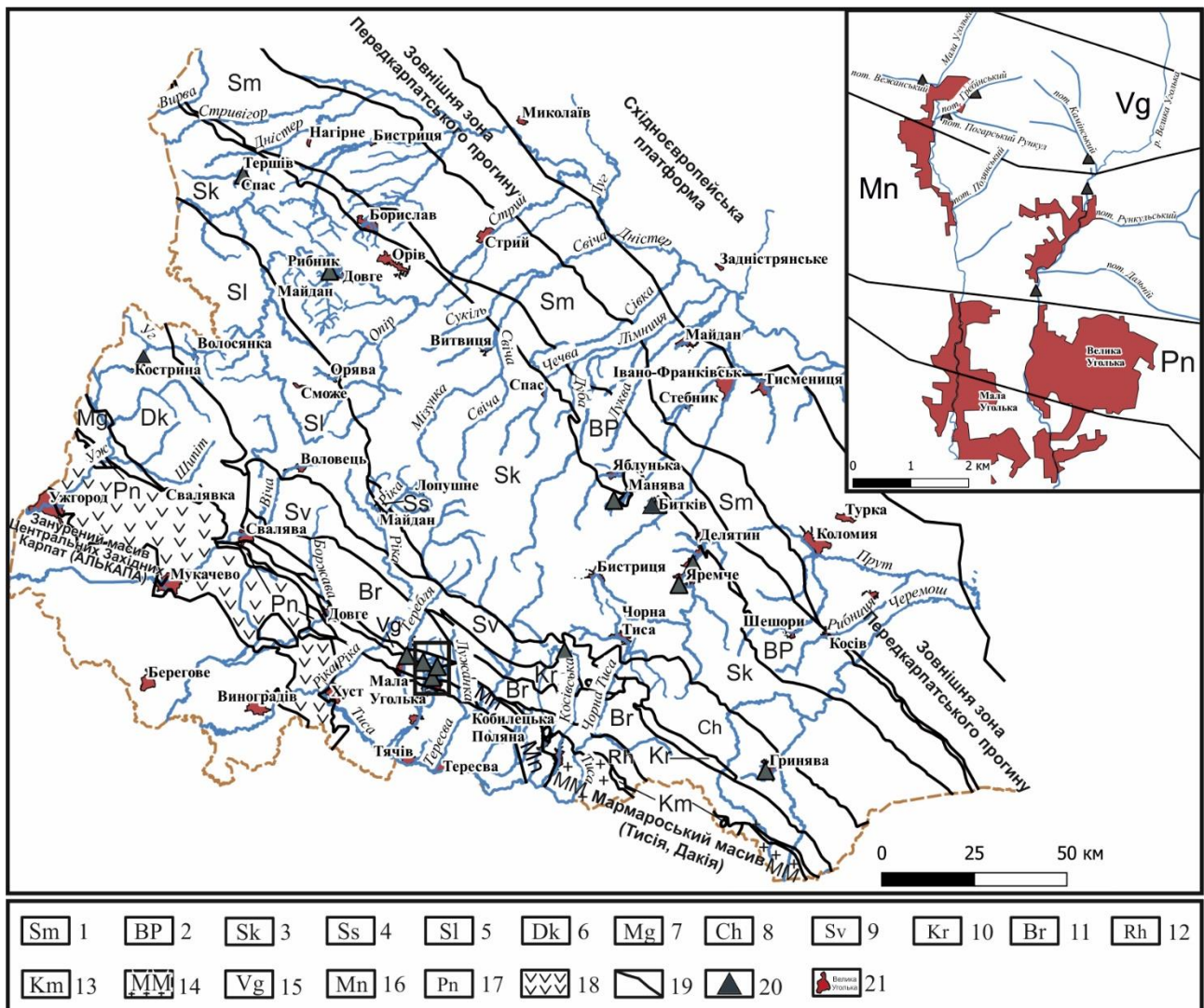


Рис. 1. Розташування досліджених розрізів палеоцену (за основу взято тектонічну схему Українських Карпат [20]): 1 – Внутрішня зона Передкарпатського прогину, Самбірський покрив; 2–7 – зовнішні флішево-моласові покриви Зовнішніх Карпат: 2 – Бориславсько-Покутський, 3 – Скибовий, 4 – Субсілезький, 5 – Сілезький з субпокривами; 6–7 – Внутрішні флішеві покриви Зовнішніх Західних Карпат: 8 – Дуклянський з субпокривами, 7 – Магурський; 8–13 – внутрішні флішеві покриви Зовнішніх Східних Карпат: 8 – Чорногорський з субпокривами, 9 – Свидовецький, 10 – Красношорський, 11 – Буркутський, 12 – Рахівський, 13 – Кам'янопотоцький; 14–15 – Внутрішні Східні Карпати: 14 – Мармароський масив, 15 – Вежанський (Мармароських скель) покрив; 16 – Внутрішньокарпатський фліш, Монастирецький покрив; 17 – Внутрішні Західні Карпати, Пенінська зона; 18 – Вигорлат-Гутинське вулканогенне пасмо; 19 – границі тектонічних елементів; 20 – локалізація вивчених розрізів; 21 – населені пункти

Свидовецькому покривах, де представлені типовим флішем. Стратиграфічні перериви у цих розрізах не виявлені. У Внутрішніх Карпатах утворення палеоцену встановлені у розрізах Вежанського (Мармароських скель) та Монастирецького ("міжскелястого флішу") покривів. Вони представлені типовим флішем у Монастирецькому покриві і "нефлішовими" суттєво мергелистими утвореннями у Вежанському покриві. У Вежанському покриві стратиграфічні перериви не виявлені. А у Монастирецькому – нижня межа зрізна на розривними насувними поверхнями.

Авторами досліджені нанофосилії з численних розрізів палеоценових відкладів, що відслонюються у Карпатському регіоні України (див. рис. 1) за аналізом власних і опублікованих матеріалів. Опрацювання значної інформації дозволило обґрунтувати зональний поділ цих відкладів за нанопланктоном.

**Внутрішні (Центральні) Карпати, Монастирецький та Вежанський (Мармароської зони скель) покриви.** Палеоценові відклади представлені сушманецькою світою та нижньометовською підсвітою метовської світи (рис. 2).

**Сушманецька світа** (О.С. Вялов, 1954 р. [7]). Відома також під назвою "шопурська світа". Представлена тонкоритмічним, місцями різноритмічним типовим флішем – перешаруванням зелених, сірих, іноді червоних аргілітів, алевролітів і пісковиків з відбитками слідів турбідитних течій і біогліфами ("ієрогліфові верстви"). Нижня межа світи повсюдно має тектонічний характер, вона перекривається згідно драгівської світою. Потужність – до 1000 м. Світу датовано данієм-лютетом за форамініферами, нанопланктоном та нумулітами.

У світі визначено зони нанопланктону **NP5 Fasciculithus tympaniformis** (зеландій), **NP6 Heliolithus kleinpellii** (пізній зеландій – ранній танет), **NP10 Tribrachiatus contortus** (ранній іпр) (див. рис. 2).

Комплекс нанопланктону зони **NP5** визначено у розрізі на лівому березі р. Велика Уголька в районі гирла потоків Рункульського і Камінського: *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre in Deflandre and Fert) Deflandre, *Thoracosphaera* sp., *Cervisiella operculata* (Bramlette & Martini) Streng, Hildebrand-Habel & Williams (базіонім: *Thoracosphaera operculata* Bramlette & Martini), *Fasciculithus tympaniformis* Hay & Mohler in Hay et al., *Ericsonia subpertusa* Hay & Mohler і перевідкладенні *Watznaueria barnesiae* (Black in Black & Barnes) Perch-Nielsen та *Micula* sp. і ін.

Нанозону **NP6** діагностовано у розрізі, що відслонюється нижче гирла потоку Рункульського: *Heliolithus* cf. *kleinpellii* Sullivan, *Heliolithus* sp., *Fasciculithus tympaniformis*, *Toweius* sp.,

*Braarudosphaera* cf. *bigelowii* (Gran & Braarud) Deflandre, *Zygrablithus* sp., *Ericsonia subpertusa*, *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller, *Prinsius martinii* (Perch-Nielsen) Haq, *Chiasmolithus* sp., *Sphenolithus* sp., *Toweius pertusus* (Sullivan) Romein і перевідкладений крейдовий вид *Watznaueria barnesiae*.

Нанопланктон зони **NP10** виявлено в руслі р. Велика Уголька: *Fasciculithus tympaniformis*, *Coccolithus pelagicus*, *Ericsonia robusta* (Bramlette & Sullivan) Edwards & Perch-Nielsen, *Sphenolithus* sp., *Prinsius* sp., *Zygrhablithus bijugatus*, *Zygrablithus* sp., *Sphenolithus radians* Deflandre in Grassé, *Tribrachiatus orthostylus* Shamrai, *Tribrachiatus* sp., *Rhombaster* cf. *bramlettei* (Brönnimann & Stradner) Bybell & Self-Trail, *Coccolithus* sp., *Chiasmolithus* sp., *Reticulofenestra* sp., *Fasciculithus* sp. і перевідкладений *Watznaueria barnesiae* [19].

**Метовська світа** (Н.В. Дабагян, С.С. Круглов, С.Є. Смірнов [14]). *Нижньометовська підсвіта* складена переважно тонко-середньоритмічним перешаруванням сірих поліміктових слюдистих пісковиків, алевролітів, аргілітів, серед яких подекуди трапляються лінзи червоних і зелених мергелів. У низах (розріз по р. Теремля) присутні конгломерати (0,6 м). Потужність – понад 100 м. Метовська світа згідно залягає на ярмутській світі верхньої крейди [5, 23], перекривається дусинською світою олігоцену. Вік світи датовано раннім данієм – раннім рюпелем за форамініферами і нанопланктоном. Нижньометовська підсвіта охарактеризована нанопланктоном зон **NP1 Biantholithus sparsus** (ранній даній), **NP5 Fasciculithus tympaniformis** (зеландій), **NP6 Heliolithus kleinpellii** (пізній зеландій – ранній танет), **NP8 Heliolithus riedelii** (танет) (див. рис. 2).

Нанопланктон зони **NP1** визначено у розрізі, що відслонюється на правому березі та в руслі р. Теремля між селами Забрідь і Драгове, поблизу колишнього заводу мінеральної води, в 300 м вгору за течією від автомобільного мосту. Тут спостерігається контакт метовської світи з ярмутською світою верхньої крейди. У глинистих прошарках серед конгломерату підосви метовської світи встановлено: *Biantholithus sparsus* Bramlette & Martini, *Thoracosphaera* sp., *Markalius inversus* (Deflandre in Deflandre and Fert) Bramlette and Martini, *Cruciplacolithus* sp. і поодинокі перевідкладені крейдові види – *Micula murus* (Martini) Bukry, *M. staurophora* (Gardet) Stradner, *Watznaueria barnesiae* [5; 18].

Нанозону **NP5** визначено в лівому борті потоку Погарський Рункул (ліва притока р. Мала Уголька), в 150 м вище гирла потоку Гребінського: *Zygrhablithus bijugatus*, *Fasciculithus tympani-*

Вік млн. р.	Міжнародна стратиграфічна шкала		Біостратиграфічні шкали		Регіональні шкали		Кореляція місцевих стратиграфічних підрозділів				
	Палеоген	Еоцен	Планктонні формінiferи (Kvale et al., 2011)	Планктонні формінiferи (Vandenbergh et al., 2012)	Нанопланктон (Agulini et al., 2014)	Динцисти (Romaniuk et al., 2019)	Біональни фери (Pliankon, 2016)	Динцисти (Romaniuk et al., 2019)	Кореляція місцевих стратиграфічних підрозділів	Внутрішні флішеві покриви	Зовнішні флішево-моласові покриви
66	КРЕЙДА		Pa0						Середньострибська лісвіла (K <sub>2</sub> sr); товсторишні фліш	Середньострибська лісвіла (K <sub>2</sub> sr); товсторишні фліш	Середньострибська лісвіла (K <sub>2</sub> sr); товсторишні фліш
65			Pa1						Нижня п/с (K <sub>2</sub> sr)	Нижня п/с (K <sub>2</sub> sr)	Нижня п/с (K <sub>2</sub> sr)
64	Данський		P1						Верхня лісвіла (P <sub>2</sub> sr); фліш темно-сірий	Верхня лісвіла (P <sub>2</sub> sr); фліш темно-сірий	Верхньострибська лісвіла (P <sub>2</sub> sr); тонкоритмічний фліш (300 м)
63			P2						Скуптська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> sk); фліш піщанисти (1000 м)	Скуптська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> sk); фліш піщанисти (1000 м)	Скуптська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> sk); фліш піщанисти (1000 м)
62			P3						Урдинська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> ur); фліш різоритмічний піщани (800 м)	Урдинська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> ur); фліш різоритмічний піщани (800 м)	Урдинська світа (K <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> ur); фліш різоритмічний піщани (800 м)
61			P4						Метоська світа (P <sub>2</sub> mt); червування пісковиків, арпліта, мергелі (100 м)	Метоська світа (P <sub>2</sub> mt); червування пісковиків, арпліта, мергелі (100 м)	Метоська світа (P <sub>2</sub> mt); червування пісковиків, арпліта, мергелі (100 м)
60			P5						Сухманецька світа (P <sub>2</sub> ss); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 1000 м)	Сухманецька світа (P <sub>2</sub> ss); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 1000 м)	Сухманецька світа (P <sub>2</sub> ss); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 1000 м)
59			P6						Богруцька світа (P <sub>2</sub> bg); фліш товсто-різоритмічний, зенено-сірий піщанисти, пісковиків, строкатолітні арпліти	Богруцька світа (P <sub>2</sub> bg); фліш товсто-різоритмічний, зенено-сірий піщанисти, пісковиків, строкатолітні арпліти	Богруцька світа (P <sub>2</sub> bg); фліш товсто-різоритмічний, зенено-сірий піщанисти, пісковиків, строкатолітні арпліти
58	Танетський		P7						Гулицька світа (P <sub>2</sub> gl); фліш різоритмічний зенувато-сірий і строкатолітний (до 400 м)	Гулицька світа (P <sub>2</sub> gl); фліш різоритмічний зенувато-сірий і строкатолітний (до 400 м)	Гулицька світа (P <sub>2</sub> gl); фліш різоритмічний зенувато-сірий і строкатолітний (до 400 м)
57			P8						Літська світа (P <sub>2</sub> li); пісковики товстошаруваті, масивні (до 400 м)	Літська світа (P <sub>2</sub> li); пісковики товстошаруваті, масивні (до 400 м)	Літська світа (P <sub>2</sub> li); пісковики товстошаруваті, масивні (до 400 м)
56			P9						Манявська світа (P <sub>2</sub> mn); фліш тонко-середньоритмічний зелений некарбонатний, строкаті переважно в підшві (до 400 м)	Манявська світа (P <sub>2</sub> mn); фліш тонко-середньоритмічний зелений некарбонатний, строкаті переважно в підшві (до 400 м)	Манявська світа (P <sub>2</sub> mn); фліш тонко-середньоритмічний зелений некарбонатний, строкаті переважно в підшві (до 400 м)
55	Еоцен		P10						Ямненська світа (P <sub>2</sub> ym); пісковики, груборитмічний фліш (до 350 м)	Ямненська світа (P <sub>2</sub> ym); пісковики, груборитмічний фліш (до 350 м)	Ямненська світа (P <sub>2</sub> ym); пісковики, груборитмічний фліш (до 350 м)
54			P11						Витвицька світа (P <sub>2</sub> vt); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 200 - 400 м)	Витвицька світа (P <sub>2</sub> vt); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 200 - 400 м)	Витвицька світа (P <sub>2</sub> vt); фліш тонко-різоритмічний "тероліфвий" зенені і строкатолітний (до 200 - 400 м)

Рис. 2. Біостратиграфічне розчленування та зіставлення стратонів палеоцену Українських Карпат за нанопланктоном (за матеріалами регіональної стратиграфічної схеми палеоенових відкладів Українських Карпат, автори: А.С. Андреева-Григорівич, О.М. Гнілко, В.О. Ващенко, М.М. Іванік, Н.В. Маслун, М.Г. Приходько, С.Р. Гнілко, О.Д. Лемішко, І.С. Супрун). Склала І.С. Супрун



*formis*, *Fasciculithus* sp., *Sphenolithus* sp., *Ericsonia subpertusa* та крейдовий вид *Watznaueria barnesiae*. Нанопланктон зони **NP6** виявлено у розрізі на правому березі потоку Погарський Рункул: *Heliolithus* cf. *kleinpellii*, *Thoracosphaera* sp., *Fasciculithus* cf. *thomasii*? Perch-Nielsen, *F. tympaniformis*, *F. schaubii* Hay & Mohler, *Fasciculithus* sp., *Markalius inversus*, *Micrantholithus* sp.? і крейдовий *Arkhangelskiella cymbiformis* Vekshina. Також цю нанозону визначено у розрізі по потоку Вежанський (права притока р. Мала Уголька): *Coccolithus pelagicus*, *Thoracosphaera* sp., *Fasciculithus tympaniformis*, *Fasciculithus* sp., *Micrantholithus* cf. *disculus* (Bramlette & Riedel) Bown, *Micrantholithus* sp., *Heliolithus* cf. *kleinpellii*, *Zygrhablithus bijugatus*, *Toweius* sp. та крейдова форма *Watznaueria barnesiae*. У правому витoku потоку Вежанський встановлено комплекс нанопланктону зон **NP5–NP6**: *Markalius inversus*, *Fasciculithus tympaniformis*, *Fasciculithus* sp., *Thoracosphaera* sp., *Braarudosphaera* sp., *Chiasmolithus danicus* (Brotzen) Hay & Mohler, *Discoaster* sp., *Prinsius* sp. і крейдовий *Watznaueria barnesiae*.

Нанозону **NP8** встановлено у розрізі по лівому борту потоку Гребінський (в 300 м вище гирла правої притоки потоку Погарський Рункул): *Heliolithus* cf. *kleinpellii*, *H. riedelii* Bramlette & Sullivan, *Heliolithus* sp., *Fasciculithus tympaniformis*, *Fasciculithus* sp., *Markalius inversus*, *Ericsonia* sp., *Coccolithus pelagicus*, *Ellipsolithus* sp., *Zygodiscus plectopons* Bramlette & Sullivan, *Thoracosphaera* sp. Цю зону визначено також у лівому борті потоку Камінський (Каменелі) – правій притоці р. Велика Уголька: *Fasciculithus tympaniformis*, *F. thomasii*, *Fasciculithus* sp., *Discoaster* sp., *Sphenolithus* sp., *Heliolithus kleinpellii*, *H. riedelii*, *Heliolithus* sp., *Markalius inversus*, *Coccolithus pelagicus*.

На лівому схилі правого витoku потоку Вежанського у підсвіті діагностовано палеоценовий нанопланктон: *Prinsius martinii* (Perch-Nielsen) Наг, *Coccolithus pelagicus*, *Fasciculithus* sp., *Zygrhablithus bijugatus*, *Sphenolithus* sp., *Thoracosphaera* sp., та численні крейдові види: *Watznaueria barnesiae*, *Micula staurophora*, *Micula* sp., *Arkhangelskiella cymbiformis*.

**Свидовецький покрив.** Палеоценові відклади представлені верхньою частиною урдинської світи (див. рис. 2).

**Урдинська світа** (О.С. Вялов, П.Н. Царненко, 1970 [6]) представлена різноритмічним флішем – перешаруванням сірих аргілітів, алевролітів, поліміктових пісковиків. Вона згідно перекривається бобруцькою світою. Нижня частина урдинської світи – верхньокрейдова, верхня частина – палеоценова (потужністю до 500 м) від-

носиться до данію і низів зеландію, її вік датований за нанопланктоном і форамініферами.

У світі встановлено нанопланктонну зону **NP1 Markalius inversus** (ранній даній) в розрізі, що відслонюється в лівій безіменній притоці ріки Середня Піка: *Coccolithus pelagicus* (синонім: *C. cavus* Hay & Mohler), *Markalius inversus* (син. *M. astroporus* (Stradner) Hay and Mohler in Hay et al.), *Prinsius dimorphosus* (Perch-Nielsen) Perch-Nielsen, *P. martinii*, *Cervisiella operculata* (базіонім: *Thoracosphaera operculata*) та крейдові види *Lucianorhabdus cayeuxii* Deflandre, *Microrhabdulus decoratus* Deflandre, *Micula staurophora* [17].

**Чорногорський покрив.** Палеоценові відклади представлені гнилецькою світою (див. рис. 2).

**Гнилецька світа** (Я.О. Кульчицький, 1959 [15]) представлена у нижній частині середньо- до товсторитмічним піщаним флішем з пластами пісковиків (вапнистих і невапнистих суттєво кварцових "склистих"), прошарками зелених аргілітів, алевролітів; вище фліш стає середньо- і тонкоритмічним, збільшується кількість пластів кварцових "склистих" пісковиків, у верхах розвинений горизонт (40-80 м) строкатих (червоних, зелених) і сірих аргілітів. Світа згідно залягає на скупівській світі, перекривається топільчанською. Потужність – понад 400 м. Вік світи датовано зеландієм – іпром за нанопланктоном та форамініферами.

У світі визначено нанозону **NP5 Fasciculithus tympaniformis** (зеландій) в розрізі по потоку Гринявський (притока р. Пробійна): *Coccolithus eopelagicus* (Bramlette & Riedel) Bramlette & Sullivan, *Ericsonia subpertusa*, *Fasciculithus tympaniformis*, *F. schaubii*, *Heliolithus* sp., *Discoaster* sp., *Ellipsolithus macellus* (Bramlette & Sullivan) Sullivan, *Chiasmolithus bidens* (Bramlette & Sullivan) Hay & Mohler (за даними А.М. Романив [10]).

**Дуклянський покрив.** Палеоценові відклади представлені верхньоберезнянською підсвітою березнянської світи (див. рис. 2).

**Березнянська світа** (О.С. Вялов, 1960 [9]). *Верхньоберезнянська підсвіта* представлена темним середньо- і товстощаруватим піщаним флішем, у якому переважають поліміктові пісковики, що у верхах переходять у гравеліти, присутні прошарки темно-сірих мергелів. Світа перекривається лютською світою. Потужність – до 500 м. Підсвіта датована данієм за нанопланктоном та форамініферами.

У розрізі, що відслонюється по р. Уж на північній окраїні с. Кострина визначено нанопланктон зони **Nephrolithus frequens** пізнього маастрихту, а вище – нанозону **NP3 Chiasmolithus danicus** (даній): *Biantholithus sparsus*, *Micrantholithus disculus* (базіонім: *Braarudosphaera discula*

Bramlette & Riedel), *Chiasmolithus danicus*, *Cruciplacolithus subrotundus* Perch-Nielsen, *C. tenuis* (Stradner) Hay and Mohler in Hay et al., *Coccolithus pelagicus* (син. *C. cavus*), *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Zygodiscus adamas* Bramlette & Sullivan, *Zeugrhabdotus sigmoides* (Bramlette & Sullivan) Bown & Young (базіонім: *Zygodiscus sigmoides* Bramlette & Sullivan) [17].

**Зовнішні Карпати, Бориславсько-Покутський та Скибовий покриви.** Палеоценові відклади представлені верхньострийською підсвітою або верхньою частиною стрийської і ямненської світами (див. рис. 2).

**Стрийська світа** (О.С. Вялов, 1951 [11]). Верхньострийська підсвіта складена тонкоритмічним флішем – перешаруванням сіроколірних (часто з блакитним відтінком) переважно вапнистих поліміктових пісковиків, алевролітів і аргілітів, присутні прошарки мергелів. В деяких розрізах (переважно на південному схилі Карпат) світа не розчленована, її верхня частина складена різноритмічним флішем з пластами пісковиків. Згідно залягає на крейдовій частині розрізу і перекривається ямненською світою. Потужність підсвіти – до 300 м. Верхньострийська підсвіта датована данієм за нанопланктоном, диноцистами і форамініферами. Верхня границя світи діахронна, вірогідно, відповідає низам зеландію [16].

У підсвіті визначені нанозони **NP1** *Biantholithus sparsus*, **NP2** *Cruciplacolithus tenuis* (ранній даній), **NP3** *Chiasmolithus danicus* (даній), **NP4** *Ellipsolithus macellus* (пізній даній – ранній зеландій) (див. рис. 2).

На правому березі р. Дністер між селами Тершів та Спас у відкладах середньострийської підсвіти діагностовано нанопланктон зони **Nephrolithus frequens** пізнього маастрихту: *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Lithraphidites quadratus* Bramlette & Martini, *Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini, *Cribrosphaerella arkhangelskii* (Shumenko) Reinhardt & Górka, *C. ehrenbergii* (Arkhangelsky) Deflandre in Piveteau, *Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre in Deflandre & Fert) Reinhardt, *Kamptnerius magnificus* Deflandre, *Nephrolithus frequens*, *Biscutum constans* (Górka) Black in Black and Barnes, *Cyclogelosphaera margereli* Noël, *Microrhabdulus decoratus*, *M. belgicus* Hay & Towe, *Micula concava* (Stradner) Verbeek, *M. staurophora*, *Markalius inversus*, *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky) Gartner, *P. stoveri* (Perch-Nielsen) Shafik & Stradner, *Staurolithites bochothnicae* (Górka) Reinhardt, *Watznaueria barnesiae*, *Placozygus spiralis* (Bramlette & Martini) Hoffmann, *P. fibuliformis* (Reinhardt) Hoffmann та ін. Вище за розрізом у верхньострийській підсвіті (потужністю 120 м), яка згідно

залягає на середньострийській підсвіті та перекривається ямненською світою, у підшвіті визначена дуже бідна асоціація нанопланктону нижньої нанозони палеоцену **NP1**: *Prinsius tenuiculus* (Okada and Thierstein) Perch-Nielsen, *Biscutum* sp., *Coccolithus* sp., *Biantholithus sparsus* та перевідкладені крейдові види *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Micula murus*, *Watznaueria barnesiae*. Вище через 10 м виявлено нерозчленовану асоціацію зон **NP2–NP3**: *Cruciplacolithus tenuis*, *C. primus* Perch-Nielsen, *Prinsius martinii*, *Chiasmolithus danicus*, *Coccolithus pelagicus*, *Prinsius dimorphosus*, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Neochiastozygus* sp., *Toweius* sp., *Ericsonia subpertusa*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Cervisiella saxea* (Stradner) Hildebrand-Habel, Willems, & Versteegh. Таким чином, межа між крейдою і палеогеном проходить у неперервному розрізі стрийської світи між середньострийською та верхньострийською підсвітами.

На правому березі ріки Прут між селами Делятин і Яремче розріз починається середньострийською підсвітою (потужністю до 200 м), яка згідно перекривається верхньострийською підсвітою (потужністю 140 м). У верхах середньострийської підсвіти визначено нанопланктон зони **Nephrolithus frequens** (пізній маастрихт): *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Lithraphidites quadratus*, *Cretarhabdus conicus*, *Cribrosphaerella arkhangelskii*, *C. ehrenbergii*, *Eiffellithus turriseiffelii*, *Kamptnerius magnificus*, *Microrhabdulus decoratus*, *Nephrolithus frequens*, *Markalius inversus* та ін. У нижній частині верхньострийської підсвіти знайдені поодинокі види нанозони **NP1**: *Prinsius tenuiculus*, *Biscutum* sp., *Coccolithus* sp., *Biantholithus* cf. *sparsus* та перевідкладені крейдові види *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Micula murus*, *Watznaueria barnesiae*. Вище по розрізу (через 15 м) встановлено нанопланктон зони **NP2**: *Cruciplacolithus tenuis* разом з *Cruciplacolithus* sp., *Coccolithus pelagicus*, *Prinsius dimorphosus*, *Cervisiella operculata*, *Braarudosphaera bigelowii*. В меншій кількості *Markalius inversus*, *Prinsius martinii*, *Biantholithus sparsus*; дещо вище – комплекс зони **NP3**: *Cruciplacolithus tenuis*, *C. primus*, *Coccolithus pelagicus*, *Ericsonia subpertusa*, *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Neochiastozygus* sp., *Toweius* sp., *Thoracosphaera* sp. та відмічено появу *Chiasmolithus danicus*. У верхній частині підсвіти визначено нижню частину нанозони **NP4**: *Coccolithus pelagicus*, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Ellipsolithus macellus*, *Ericsonia subpertusa*, *Chiasmolithus danicus*, *Cruciplacolithus tenuis*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Cervisiella saxea*, *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Prinsius* sp., *Fasciculithus* sp., *Neochiastozygus* sp., *Ericsonia* sp.

Нанопланктон зони **NP2** встановлено у верхній частині стратотипового розрізу по р. Рибник (права притока р. Стрий) в 1,5 км вище устя: *Cruciplacolithus tenuis*, *Coccolithus pelagicus* (син. *C. cavus*), *Markalius inversus* (син. *M. astroporus*), *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Zeugrhabdotus sigmoides* (базіонім: *Zygodiscus sigmoides*) та ін. [17].

Нанозону **NP3** встановлено у розрізі по другій лівій притоці р. Манявка – у перехідній пачці від стрийської світи до битківських верств: *Chiasmolithus danicus*, *Coccolithus pelagicus* (син. *C. cavus*), *Cruciplacolithus tenuis*, *Ericsonia subpertusa*, *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Zeugrhabdotus sigmoides* (базіонім: *Zygodiscus sigmoides*) та ін. У верхній частині цієї пачки визначено зону **NP4**: *Ellipsolithus macellus*, *Chiasmolithus danicus*, *Chiasmolithus* sp., *Coccolithus pelagicus* (син. *C. cavus*), *Cruciplacolithus tenuis*, *Prinsius dimorphosus*, *Zeugrhabdotus sigmoides* (базіонім: *Zygodiscus sigmoides*; син. *Zygodiscus simplex*), *Ericsonia subpertusa*. Вище в 20 м за розрізом знайдений збіднілий комплекс нанофосилій **NP7 Discoaster gemmeus** (ранній танет): *Coccolithus pelagicus*, *Discoaster gemmeus* Stradner, *Discoaster* cf. *D. nobilis* Martini, *Ericsonia subpertusa*, *Heliolithus kleinpellii*, *Fasciculithus involutus* Bramlette & Sullivan, *F. tympaniformis* [17].

**Ямненська світа** (К. Пауль, Є. Тітце, 1877 р. [28]). Складена пісковиками світло-сірими, жовтуватими масивними, товстошаруватими, поліміктовими, іноді вапнистими, подекуди з прошарками сірих та зеленкувато-сірих аргілітів і алевролітів, з лінзами гравелітів і дрібноуламкових конгломератів, що містять гальку зелених і червоних філітів, кварцу, вапняків, пісковиків. Згідно залягає на стрийській світі, перекривається манявською. Потужність – від перших метрів до 300–350 м. На північному сході Зовнішніх Карпат в долішній частині ямненської світи залягає *яремчанський строкатий горизонт*, представлений тонкоритмічним перешаруванням зелених, червоних, сірих аргілітів, алевролітів, пісковиків. Потужність – до 10–40 м. Вік світи – зеландій–танет за нанопланктоном і форамініферами. У світі визначено нанозони **NP4 Ellipsolithus macellus** (сама верхня частина зони, пізній даній – ранній зеландій), **NP5 Fasciculithus tympaniformis** (зеландій), **NP6 Heliolithus kleinpellii** (пізній зеландій – ранній танет), **NP7 Discoaster mohleri** – **NP8 Heliolithus riedelii** (танет), **NP9 Discoaster multiradiatus** (пізній танет – ранній іпр) у стратотиповому розрізі по р. Прут (див. рис. 2).

Відслонення знаходиться в 250 м від двох мостів в м. Яремче. У покрівлі верхньострийсь-

кої підсвіти і в низах яремчанського горизонту встановлена досить бідна асоціація нанопланктону верхньої частини зони **NP4**: *Ellipsolithus macellus*, *Ericsonia subpertusa*, *Prinsius dimorphosus*, *P. martinii*, *Prinsius* sp., *Fasciculithus* sp., *Neochiastozygus* sp., *Sphenolithus* sp. На верхньострийській підсвіті без ознак перерви залягає яремчанський строкатий горизонт (тонкоритмічне перешарування червоних, темно-червоних, зеленувато-сірих глин з блакитно-сірими пісковиками) потужністю до 70 м, у якому встановлено нанопланктон зони **NP5**: *Coccolithus pelagicus*, *Toweius rotundus* Perch-Nielsen in Perch-Nielsen et al., *T. pertusus*, *T. eminens* (Bramlette & Sullivan) Perch-Nielsen, *Fasciculithus tympaniformis*, *F. involutus*, *Lithoptychius pileatus?* (Bukry) Aubry in Aubry et al., *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Zygodiscus adamas*, *Ericsonia aliquanta* Bown, *E. subpertusa*, *E. robusta* (малих розмірів), *Thoracosphaera* sp., *Cervisiella saxea*, *Prinsius* sp., *Braarudosphaera bigelowii*, *Micrantholithus disculus*, *Sphenolithus primus* Perch-Nielsen, *Campylosphaera dela* (Bramlette & Sullivan) Hay & Mohler, *Neochiastozygus* sp. Вище (~20 м), відслонюється пачка перешарування різнопотужних сірих пісковиків і темно-сірих алевролітів та глин ямненської світи (потужністю ~45 м) [10]. У самій верхній частині яремчанського горизонту та у цій пачці встановлена асоціація нанопланктону зони **NP6**: *Heliolithus kleinpellii*, *Heliolithus* sp., *Fasciculithus tympaniformis*, *F. involutus*, *Fasciculithus* cf. *schaubii*, *Cruciplacolithus frequens* (Perch-Nielsen) Romein, *Coccolithus pelagicus*, *Chiasmolithus danicus*, *C. consuetus* (Bramlette & Sullivan) Hay & Mohler, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Toweius eminens*, *T. pertusus*, *Cervisiella saxea*, *Sphenolithus* sp., *Ericsonia subpertusa* (малих розмірів), *Markalius inversus*, *Prinsius* sp., *Neochiastozygus* sp., *N. distentus* (Bramlette & Sullivan) Perch-Nielsen, *N. concinnus* (Martini) Perch-Nielsen. Вище по розрізу у ямненській світі визначено комплекс нанопланктону, що характерний для зон **NP7–NP8**: *Heliolithus kleinpellii*, *H. riedelii*, *Sphenolithus primus*, *Prinsius bisulcus*, *Fasciculithus tympaniformis*, *Fasciculithus* sp., *F. involutus*, *Coccolithus eopelagicus*, *C. pelagicus*, *Coccolithus* sp., *D. mohleri* Bramlette & Percival, *Toweius* sp., *Neochiastozygus concinnus*, *N. denticulatus* (Perch-Nielsen) Perch-Nielsen, *N. digitosus* Perch-Nielsen, *Toweius pertusus*, *Ericsonia robusta*, *Zygodiscus plectopons*, *Chiasmolithus bidens*, *C. consuetus*, *C. solitus* (Bramlette and Sullivan) Locker, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Pontosphaera* sp. У середній та верхній частинах світи встановлена асоціація нанопланктону зони **NP9**: *Discoaster multiradiatus* Bramlette & Riedel, *D. mohleri*,

*D. nobilis*, *Coccolithus pelagicus*, *Cruciplacolithus primus* Perch-Nielsen, *Neochiastozygus distentus*, *N. concinnus*, *Fasciculithus tympaniformis*, *F. involutus*, *Zeugrhabdotus sigmoides*, *Chiasmolithus bidens*, *C. consuetus*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Campylosphaera eodela* Bukry & Percival, *Toweius pertusus*, *Sphenolithus primus*, *Heliolithus riedelii*. Вище по розрізу ямненська світа згідно перекривається манявською світою, у якій нанопланктон не знайдено. Межа палеоцену і еоцену умовно проводиться між цими світами.

Зіставлення комплексів нанофосилій визначених зон дозволило здійснити кореляцію місцевих стратиграфічних підрозділів палеоцену Українських Карпат та розробити зональну шкалу за нанопланктоном, а також показати співставлення нанозон із зонами за форамініферами та диноцистами (див. рис. 2).

**Висновки.** Вперше палеоценовий нанопланктон вивчено в усіх тектонічних одиницях Українських Карпат, де виділено нанозони NP1, NP2, NP3 (даній), NP4 (пізній даній – ранній зеландій), NP5 (зеландій), NP6 (пізній зеландій – ранній танет), NP7, NP8 (танет), NP9 (пізній танет – ранній іпр). Повну послідовність цих зон в жодному розрізі не виявлено. Видовий склад нанопланктону в одновікових зонах, визначених в різних тектонічних структурах, майже однаковий.

Отримані нові дані з врахуванням матеріалу попередніх дослідників дали можливість доповнити та уточнити стратиграфічну схему палеоценових відкладів Українських Карпат, а встановлені кореляційні рівні за нанопланктоном дали змогу вийти на пряму кореляцію з Міжнародною стратиграфічною шкалою (МСШ 2016 р.) [26].

### Література

1. Андреева-Григорович А.С. Зональная стратиграфия палеогена юга СССР по фитопланктону (диноцисты и нанопланктон): диссертация на соиск. уч. степени д-ра геол.-мин. наук [Текст] / А.С. Андреева-Григорович. – Киев, 1991. – 47 с.
2. Андреева-Григорович А.С. Зональная шкала палеогена юга СССР по нанопланктону [Текст] / А.С. Андреева-Григорович, Н.Г. Музыльв, И.П. Табачникова // Зональная стратиграфия фанерозоя СССР. – Москва: Недра, 1991. – С. 134 – 135.
3. Андреева-Григорович А.С. Расчленение палеогеновых отложений северо-западной части Бориславско-Покутской зоны Предкарпатского прогиба [Текст] / А.С. Андреева-Григорович, А.Д. Грузман, С.Е. Смирнов // Геологический журнал. – 1988. – № 1. – С. 74 – 82.
4. Андреева-Григорович А.С. Гаптофитовые и динофитовые водоросли палеоценовых отложений Украинских Карпат [Текст] / А.С. Андреева-Григорович, И.С. Супрун // Водоросли в эволюции биосферы: Материалы II Палеоальгологической конференции (10-16 октября 2016 г.) / Под ред. Н.К. Лебедевой, А.А. Горячевой; Рос. акад. наук, Сибирское отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2016. – С. 3 – 6.
5. Андреева-Григорович А.С. Межа крейди-палеоцену у відкладах Вежанського покриву (зона Мармороських скель) Внутрішніх Українських Карпат [Текст] / А.С. Андреева-Григорович, О.М. Гнилко, С.Р. Гнилко // Палеонтологічні дослідження в удосконаленні стратиграфічних схем фанерозойських відкладів: XXXIV сесія Палеонтол. т-ва НАН України, Дніпропетровськ, 28-31 травня 2012: матеріали сесії. – Київ, 2012. – С. 66–67.
6. Вялов О.С. Крейдові відклади Свидовецької та Красношорської підзони в Українських Карпатах [Текст] / О.С. Вялов, П.Н. Царненко // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1970. – № 11. – С. 969 – 972.
7. Вялов О.С. Мезозойские и палеогеновые отложения флишевой области [Текст] / О.С. Вялов // Проблема промышленной нефтеносности и газоносности западных областей УССР. – 1954. – Т. 1 – № 2. – С. 48 – 74.
8. Вялов О.С. Палеогеновый флиш северного склона Карпат [Текст] / О.С. Вялов – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 136 с.
9. Вялов О.С. Пересечение Карпат: общий обзор [Текст] / О.С. Вялов // Материалы VI съезда Карпато-Балканской ассоциации. Стратиграфия. – № 3: – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – С. 148 – 156 : ил.
10. Вялов О.С. Стратотипы меловых и палеогеновых отложений Украинских Карпат [Текст] / О.С. Вялов, С.П. Гавура, В.В. Даныш и др. – Киев: Наук. думка, 1988. – 204 с.
11. Вялов О.С. Схема стратиграфии северного склона Карпат [Текст] / О.С. Вялов // Докл. АН СССР. – 1951. – Т. 77. – № 4. – С. 689 – 692.
12. Григорович А.С. Микрофитопланктон меловых и палеогеновых отложений северного склона Украинских Карпат и его стратиграфическое значение: автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. [Текст] / А.С. Григорович. – Львов, 1969. – 22 с.
13. Григорович А.С. Микрофитопланктон меловых и палеогеновых отложений северного склона Украинских Карпат [Текст] / А.С. Григорович // Бюл. Москов. о-ва испытателей природы. Отд. геол. – 1971. – № 2. – С. 83 – 98.
14. Дабагян Н.В. Литология и стратиграфия мелового и палеогенового чехла зоны Закарпатских утесов [Текст] / Н.В. Дабагян, С.С. Круглов, С.Е. Смирнов // Тр. УкрНИИГРИ. – 1965. – Вып. 14. – С. 78 – 86.
15. Кульчицкий Я.О. Меловой и палеогеновый флиш юго-восточной части Восточных Карпат: автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. [Текст] / Я.О. Кульчицкий. – Львов, 1959. – 16 с.

16. Объяснительная записка к региональной стратиграфической схеме палеогеновых обложений Украинских Карпат [Текст] / А.С. Андреева-Григорович, О.С. Вялов, С.П. Гавура и др. – Киев, 1984. – 50 с. – (Препринт АН УССР, Ин-т. геол. наук; № 84 – 19).
17. Романив А.М. Известковый наннопланктон меловых и палеогеновых отложений Украинских Карпат [Текст] / А.М. Романив. – Киев: Наукова думка, 1991. – 148 с.
18. Супрун І.С. Палеоценовий наннопланктон південного схилу Українських Карпат (Вежанський покрив, нижньоометовська підсвіта) [Текст] / І.С. Супрун // Геологічний журнал. – № 1 (362). – 2018. – С. 58 – 65. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126567>
19. Супрун І. Палеоцен-ранньооценові планктонні мікрофосилії з відкладів сушманецької світи в басейні р. Велика Уголь (Монастирецький покрив, Внутрішні Українські Карпати) [Текст] / І. Супрун, С. Гнилко // Проблеми геології фанерозою України: Матеріали ІХ Всеукраїнської наукової конференції присвячена пам'яті першого західноукраїнського геолога Юліана Медвецького (1845–1918) (Львів, 10–12 жовтня 2018 р.). – Львів, 2018. – С. 59 – 61.
20. Сучасна геодинаміка і геофізичні поля Карпат та суміжних територій [Текст] / К.П. Третьак, В.Ю. Максимчук, Р.І. Кутас і ін. – Львів: В-во Львівської політехніки, 2015 – 420 с.
21. Agnini C. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes / C. Agnini, E. Fornaciari, I. Raffi et al. // Newsletters on Stratigraphy. – 2014. – Vol. 47/2. – P. 131–181. DOI: <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2014/0042>
22. Andreyeva-Grigorovich A.S. Biostratigraphic correlations of the Paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians and Crimea-Bakhchisarai area using nannoplankton and dinocysts / A.S. Andreyeva-Grigorovich // *Geologica Carpathica*. – 1999. – Vol. 50. – P. 10 – 12.
23. Hnylko S. Foraminiferal stratigraphy and palaeobathymetry of Paleocene-lowermost Oligocene deposits (Vezhany and Monastirets nappes, Ukrainian Carpathians) / S. Hnylko, O. Hnylko // *Geological Quarterly*. – 2016. – Vol. 60 (1). – P. 75 – 103. DOI: <https://doi.org/10.7306/gq.1247>
24. Martini E. Standard Paleogene calcareous nannoplankton zonation / E. Martini // *Nature*. – 1970. – Vol. 226. – № 5245. – P. 560 – 561. DOI: <https://doi.org/10.1038/226560a0>
25. Martini E. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation / E. Martini // In: Farinacci, A. (Ed.), *Proceedings of the II Planktonic Conference, Roma, 1969*. Tecnoscienza, Rome, – 1971. – P. 739 – 785.
26. Ogg J.G. A Concise Geologic Time Scale / J.G. Ogg, G.M. Ogg, F.M. Gradstein. – 2016. – P. 187 – 201. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64442-1>
27. Okada H. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostratigraphic zonation / H. Okada, D. Bukry // *Marine micropaleontology* – 1980. – № 5. – P. 321 – 325. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(80\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0377-8398(80)90016-X)
28. Paul K.M. Studien in der Sandstein zone der Karpathen / K.M. Paul, E. Tietze // *Ibid.* – 1877. – 27. – P. 33–130.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 551.781.3:581.526.325(477.8)

**Iryna Suprun,**

Junior Researcher, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01601, Ukraine,

e-mail: [supun\\_is@ukr.net](mailto:supun_is@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4703-7543>;

**Aida Andreyeva-Grigorovich,**

Doctor of Science (Geology), Senior Researcher, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,

e-mail: [aida\\_andreeva-grigorovich@ukr.net](mailto:aida_andreeva-grigorovich@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2925-8043>

## CALCAREOUS NANNOFOSSIL ASSEMBLAGES FROM PALEOCENE SEDIMENTS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

**Problem statement.** Detail study of both vertical and spatial distribution of calcareous nannofossils from the Paleocene sediments of the Ukrainian Carpathians enabled to determine the evolutionary development of Haptophyta algae during the Paleocene, and became the basis for correlation of boundary markers and correlative biohorizons. Here we summarize data obtained from previous research, and also our own, and propose an updated biozonation of Paleocene sediments of the Northern and Southern slopes of the Ukrainian Carpathians.

**Previous work.** Calcareous nannofossil research of the area goes back to the 1960's. These studies had a fragmentary character with only few sections examined for their nannofossil content.

**Materials and research methods.** The paper includes the results of nannofossil research from numerous sections of Paleocene Flysch developed in the Outer and Inner Carpathian nappes.

**Discussion of the research data.** The paper discusses the biozonation and correlation of local lithostratigraphic units of the Ukrainian Carpathians based on the detail study of nannofossils. For the first time, the complete successions of nannozones of the latest Geological Time Scale have been identified in the Ukrainian Carpathians. In the Outer (Flysch) Carpathians several nannozones were determined within the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes. There include – *Markalius inversus* / *Biantholithus sparsus* (NP1), *Cruciplacolithus tenuis* (NP2), *Chiasmolithus danicus* (NP3) and *Ellipsolithus macellus* (lower NP4) in the Upper Striy subsuite; top *Ellipsolithus macellus* (NP4), *Fasciculithus tympaniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) in Yaremcha Formation, *Discoaster mohleri* (NP7) in Bytkiv layers, *Heliolithus riedelii* (NP8), *Discoaster multiradiatus* (bottom NP9) from the Yamna suite; *Chiasmolithus danicus* (NP3) from Upper Bereznyan subsuite of Dukla nappe; *Fasciculithus tympaniformis* (NP5) in Gnylets suite of Chornohora nappe and *Markalius inversus* (NP1) in Urdyn suite of Svydovets nappe. Within the Inner Carpathians nannozones were defined in the Lower Metova subsuite of the Vezhany nappe – *Biantholithus sparsus* (NP1), *Fasciculithus tympaniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6), *Heliolithus riedelii* (NP8); Sushmanets suite of Monastyrets nappe contained *Fasciculithus tympaniformis* (NP5), *Heliolithus kleinpellii* (NP6) and *Tribrachiatus contortus* (NP10) of the Early Ypresian. The stratigraphic positioning of nannofossil assemblages was rectified and their correlation with foraminifera and dinocyst zones was demonstrated. These nannozone assemblages from the Ukrainian Carpathians are correlated with the Danian, Selandian and Thanetian stages of the Geological Time Scale (GTS, 2012 and 2016). This integrated research enables to rectify and modify the stratigraphic scheme of the Paleogene from the Carpathian region.

**Conclusions.** A modern calcareous nannofossil biozonation of the latest International schemes has been recognized from the studied Paleocene sections of the Ukrainian Carpathians. Nine (9) nannozones ranging from NP1 (Early Danian) to NP9 (Late Thanetian – Early Ypresian) and also the lowest NP10 nannozone of Early Ypresian have been identified in strata from different structural-tectonic units.

The nannofossil biozonation is correlated with those foraminifera and dinocyst biochronology. The age and correlation for the Paleocene stratigraphic subdivisions has been justified based on the nannofossil biostratigraphy. This resulted in the upgrading of the existing stratigraphic scheme of the Paleogene of the Ukrainian Carpathians.

**Keywords:** Calcareous nannofossils, Biostratigraphy, Suite, Correlation, Paleocene, Northern and Southern slopes of the Ukrainian Carpathians.

#### References

1. Andreeva-Grigorovich A.S. (1991). *Zonal stratigraphy of the Paleogene of the south of the USSR on phytoplankton (dyncocists and nanoplankton): abstract of PhD dissertation. Kiev. 47.*
2. Andreeva-Grigorovich A.S., Muzylov N.G., Tabachnikova I.P. (1991). *Biozonation of the Paleogene of the south of the USSR based on nanoplankton. Zonal stratigraphy of the Phanerozoic of the USSR. Moscow: Nedra. 134 – 135.*
3. Andreeva-Grigorovich A.S., Gruzman A.D., Smirnov S.E. (1988). *Biozonation of Paleogene sediments of North-Western part of Boryslav-Pokuttya zone of the Carpathian Foredeep. Geological journal. 1. 74 – 82.*
4. Andreeva-Grigorovich A.S., Suprun I.S. (2016). *Haptophyceae and dinophyceae fossil algae from the Paleocene sediments of the Ukrainian Carpathian region. Algae in the Evolution of the Biosphere. Materials of II Paleoalgalogical conference (10-16 october 2016). Ed. Lebedeva N.K., Goryacheva A.A. Russian Academy of Science, Siberian branch. A.A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics. Novosibirsk, INGG SO RAS. 3 – 6.*
5. Andreeva-Grigorovich, A.S., Hnylko, O.M., Hnylko, S.R. (2012). *Cretaceous–Paleocene boundary in the deposits of the Vezhany Nappe (Marmarosh Klippen Zone) of the Inner Ukrainian Carpathians (in Ukrainian). In: Paleontological research in improving the Phanerozoic stratigraphic schemes: XXXIV session of the Paleontological Society of NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, 28–31 May 2012. Kyiv. 66 – 67.*
6. Vyalov, O.S., Tsarnenko P.N. (1970). *The Cretaceous sediments of the Svydovets and Krasnoshor subunits of the Ukrainian Carpathians. Reports of the Academy of Sciences of Ukrainian SSR. Ser. B. 11. 969 – 972.*
7. Vyalov, O.S. (1954). *Mesozoic and Paleogene deposits of the flysch area. The problem of industrial oil-bearing and gas-bearing of the western regions of USSR, 1(2). 48 – 74.*
8. Vyalov O.S. (1961). *Paleogene Flysch of the Northern Slope of the Carpathians. Kiev, Publishing of Academy of Sciences of Ukrainian SSR. 136.*
9. Vyalov O.S. (1960). *Intersection of the Carpathians: General overview. Materials of VI congress of the Carpathian – Balkan Association. 3: Stratigraphy. Kiev, Publishing of Academy of Sciences of Ukrainian SSR. 148 – 156. (with illustrations).*
10. Vyalov O.S., Gavura S.P., Danysh V.V., et al. (1988). *Stratotypes of Cretaceous and Paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians. Kiev, Naukova Dumka, 204.*
11. Vyalov O.S. (1951). *The scheme of the stratigraphy of the northern slope of the Carpathians. Doklady AN SSSR. 4 (77). 689 – 692.*
12. Grigorovich A.S. (1969). *Microphytoplankton of the Cretaceous and Paleogene deposits of the Northern Slope of the Ukrainian Carpathians and it's stratigraphic importance: abstract of PhD dissertation. Lviv. 22.*

13. Grigorovich A.S. (1971). *Microphytoplankton of the Cretaceous and Paleogene deposits of the northern slope of the Ukrainian Carpathians*. *Bulleten Moscovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Otd. geol.* 2. 83 – 98.
14. Dabagyan, N.V., Kruglov, S.S., Smirnov, S.E. (1965). *Lithology and stratigraphy of the Cretaceous and Paleogene cover of the Transcarpathian Klippen Zone*. *Trudy UkrNIGRI.* 14. 78 – 86.
15. Kulchitsky Ya.O. (1959). *Cretaceous and Paleogene Flysch of the South – Eastern part of Eastern Carpathians: abstract of PhD dissertation*. Lvov. 16.
16. Andreyeva-Grigorovich A.S., Vyalov O.S., Gavura S.P. et al. (1984). *Explanatory memorandum to the regional stratigraphic scheme of the Paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians*. Kiev, Working paper of the Institute of Geological Sciences of Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 84–19. 50.
17. Romaniv A.M. (1991). *Calcareous nannofossils of the Cretaceous and Paleogene sediments of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv, Naukova Dumka. 148.
18. Suprun I.S. (2018). *Paleocene nannofossils of the southern slope of the Ukrainian carpathians (Vezhany Nappe, lower metova subformation)*. *Geological journal.* 1(362). 58 – 65. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126567>
19. Suprun I.S., Hnylko S. (2018). *Paleocene – Early Eocene microfossils from the Sushmanetsk suite from the Velyka Ugolka river section (Monastyretsk nappe, Inner Ukrainian Carpathians)*. In *Problems of the Phanerozoic of Ukraine. Materials of the IX All – Ukrainian scientific conference dedicated to the memory of the first West Ukrainian geologist Y. Medvetskogo*. (Lviv, 10–12 october 2018). Lviv. 59 – 61.
20. Tretiak K.P., Maksymchuk V.Y., Kutas R.I. et al. (2015). *Modern Geodynamics and geophysical anomalies of Carpathians and adjacent territories*. Lviv, Publishing of Lviv Politechnyk. 420.
21. Agnini C., Fornaciari E., Raffi I. et al. (2014). *Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes*. *Newsletters on Stratigraphy.* 47(2). 131 – 181. DOI: <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2014/0042>
22. Andreyeva-Grigorovich A.S. (1999). *Biostratigraphic correlations of the paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians and Crimea-Bakhchisarai area using nannoplankton and dinocysts*. *Geologica Carpathica.* 50. 10 – 12.
23. Hnylko S., Hnylko O. (2016). *Foraminiferal stratigraphy and palaeobathymetry of Paleocene-lowermost Oligocene deposits (Vezhany and Monastyrets nappes, Ukrainian Carpathians)*. *Geological Quarterly.* 60 (1). 75 – 103. DOI: <https://doi.org/10.7306/gq.1247>
24. Martini E. (1970). *Standard Paleogene calcareous nannoplankton zonation*. *Nature.* 226 (5245). 560 – 561. DOI: <https://doi.org/10.1038/226560a0>
25. Martini E. (1971). *Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation*. In: *Farinacci, A. (Ed.), Proceedings of the II Planktonic Conference, Roma, 1969*. Tecnoscienza, Rome. 739 – 785.
26. Ogg J.G., Ogg G.M., Gradstein F.M. (2016). *A Concise Geologic Time Scale*. 187 – 201. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64442-1>
27. Okada H., Bukry D. (1980). *Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostratigraphic zonation*. *Marine micropaleontology.* 5. 321 – 325. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(80\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0377-8398(80)90016-X)
28. Paul K.M., Tietze E. (1877). *Studien in der Sandsteinzone der Karpathen*. *Ibid.* 27. 33 – 130.

# ГЕОГРАФІЯ

UDC 551.509.5

**Ellina Viktorovna Agayar,**  
PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str, 65016, Odessa, Ukraine,  
e-mail: [agayarellina@gmail.com](mailto:agayarellina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3914-6288>;

**Alina Borisovna Semerhei-Chumachenko,**  
PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology Odessa State Environmental University,  
e-mail: [asemergey2016@gmail.com](mailto:asemergey2016@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>;

**Svitlana Olekandrivna Zubkovych,**  
PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth,  
Kharkiv National Aerospace University, 17 Chkalov Str, 61070, Kharkiv, Ukraine,  
e-mail: [szubkovych@gmail.com](mailto:szubkovych@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6839-7572>

## APPLYING PREDICTION MODELS FOR SHORT-TERM HAIL FORECASTING IN SOUTHERN UKRAINE

**Е. В. Агайар, А. Б. Семергей-Чумаченко, С. О. Зубкович. ВИКОРИСТАННЯ ПРОГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КРАТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ГРАДУ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ.** Град є одним з основних джерел збитків житловим, комерційним і сільськогосподарським активам в Україні. Вивчення умов виникнення крупного граду, особливо не передбачених стандартними методами прогнозу випадків зі значним матеріальним збитком, має завжди високу актуальність. Підвищення справджуваності та завчасності штормових попереджень про випадіння граду є важливою проблемою оперативного метеорологічного забезпечення. Складність її вирішення обумовлена недостатньою точністю модельного прогнозування метеорологічних параметрів атмосфери, неточністю визначення часу і місця виникнення конвективних явищ, рідкісної мережею спостережень і відсутністю, внаслідок цього, бази даних небезпечних явищ. У статті проаналізовані умови виникнення двох випадків градобою на території півдня України в 2017-2018 рр. У першому епізоді синоптики не прогнозували град, в іншому спостерігалось випадання надзвичайного граду ( $D = 65$  мм). Визначені синоптичні і термодинамічні умови виникнення граду. Оцінені можливості застосування різних індексів нестійкості атмосфери, а також використання прогностичних даних чисельного моделювання глибокої конвекції (модель Global Forecast System - GFS) з кроком сітки  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Виявлені найбільш інформативні параметри формування граду - Severe Weather ThrEAT індекс (скорочено SWEAT), Convective Available Potential Energy (скорочено CAPE), Li (Lifted Index), BRN (Bulk Richardson Number) та BI (Boydén I). Наведені рекомендації щодо покращення якості короткочасного прогнозу граду з врахуванням даних чисельного моделювання.

**Ключові слова:** град, стихійні метеорологічні явища, конвективні процеси, моделювання глибокої конвекції, індекси нестійкості атмосфери.

**Е. В. Агайар, А. Б. Семергей-Чумаченко, С. А. Зубкович ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КРАТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗА ГРАДА НА ЮГЕ УКРАИНЫ.** Град является одним из основных источников ущерба жилым, коммерческим и сельскохозяйственным активам на Украине. Изучение условий возникновения крупного града, особенно не предсказанных случаев и со значительным материальным ущербом, всегда имеет высокую актуальность. Повышение оправдываемости и заблаговременности штормовых предупреждений о возникновение града является одной из основных и главных задач, которые возникают при оперативном метеорологическом обеспечении. Сложность ее решения обусловлена недостаточной точностью модельного прогнозирования метеорологических параметров атмосферы, неточностью определения времени и места возникновения конвективных явлений, редкой сетью наблюдений и отсутствием, в результате этого, базы данных опасных явлений. В статье проанализированы условия возникновения двух случаев градобития, зафиксированных на территории юга Украины в 2017–2018 гг. В первом эпизоде синоптики не прогнозировали град, в другом наблюдалось выпадение чрезвычайного града ( $D=65$  мм). Рассмотрены синоптические и термодинамические условия возникновения града. Оцениваются возможности применения различных индексов, рассчитывающих параметры неустойчивости атмосферы, а также использования прогностических данных численного моделирования глибокой конвекции (GFS) шагом сетки  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Вывявлены наиболее информативные параметры формирования града – Severe Weather ThrEAT индекс (сокращенно SWEAT), Convective Available Potential Energy (CAPE), Li (Lifted Index), BRN (Bulk Richardson Number) и BI (Boydén Index). Приведены рекомендации по улучшению качества кратковременного прогноза града с учетом данных численного моделирования.

**Ключевые слова:** град, стихийные метеорологические явления, конвективные процессы, моделирование глибокой конвекции, индексы неустойчивости атмосферы.

**Formulation of the problem.** The geographical position of Ukraine, the diversity of climatic conditions and the features of the synoptic processes on its territory contribute to the complex spatial and



temporal distribution of the occurrence of natural meteorological phenomena (NMP). In recent years, the frequency of extreme weather phenomena has increased due to significant climate fluctuations [8]. Often natural disasters cause significant damage to the economy and the population, having a devastating nature, especially when a complex of dangerous weather conditions is created. These weather conditions mutually reinforce their negative impact: storm rains accompanied by storm winds, thunderstorms with hail, etc.

Increasing the validity and timeliness of storm warnings about hail occurrence is one of the main urgent tasks of operational meteorological support. The complexity of its solution is due to insufficient accuracy of model forecasts of meteorological parameters of the atmosphere, inaccuracy in determining the time and place of convective phenomena occurrence, a rare network of observations.

**Analysis of previous research and publications.** The current state of the problem of hail cloudiness forecasting is characterized by the accumulation of theoretical and experimental material on the macro- and microstructural characteristics of clouds - V. Findaisen [10] G.K. Sulakwelidze [7], S.M. Schmeter [11], M.V. Bukov [2] etc. [1,5,9]. Foreign experience also indicates the relevance of the study of climatology, the dynamics of formation and prediction of strong hail (Bedka 2011; Dworaketal. 2012) [13-23, 25-27]. Methods of convective phenomena forecasting using empirical parameters of atmospheric instability are now popular [3,4,12]. In operational prognostic practice in Ukraine, the possibility of using these parameters is rather limited due to insufficient software, so research of this issue is relevant.

**The purpose of the research** is to study the synoptic and thermodynamic conditions of large hail occurrence in the territory of southern Ukraine, as well as the possibility of using forecasting models for short-term forecast of hail.

The source material was meteorological observation data (ARMSin), Wetterzentrale [29], logs of storm warnings of HMC BAS, interactive databases of the European Severe Storms Laboratory ESSL [30] site at the specified dates. To analyze the humid and dynamic parameters of the troposphere in the implementation of dangerous meteorological phenomena, we used an atmospheric radiosonde data set at 00.00 UTC and numerical simulations (GFS) with a spatial separation of  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  at the stations of Odessa-HMO (Odessa-Observatories) and Yuzhnoukrainsk of Nicolayiv region (at 12.00 and 15.00 UTC).

**Methods and presentation of the study material.** Heavy hail in the summer is possible for the whole territory of Ukraine, and quite often this phe-

nomenon is observed in the southern regions of the country [8]. For the period of 2009-2018, hazardous weather database of The Black and Azov Seas Hydrometeorological Center provides information about 20 hailstorms. And it is reported about 56 hailstorms according to the European Severe Weather Database (ESWD)[30].

Many of these cases were not predicted, including no storm warnings, so the study of hail occurrence conditions with significant material damage, especially not predicted by the forecast, is most relevant.

Two cases of hail fall in the Northwest Black Sea region during the warm period of 2017 and 2018 were selected for the research, which are related to the synoptic processes that led to the development of powerful convection. The first one was observed in the area of Odessa-AMSC and Odessa-HMO stations on May 20, 2017 between 14.23 and 15.00 of local time ( $D = 8$  mm), but was not forecasted. The second case is an extraordinary hail ( $D = 65$  mm), which was registered on 28.06.2018 at 15.05 UTC in the territory of the Nikolaev region near Yuzhnoukrainsk city. In both cases, the possibility of using different indices, which calculate the parameters of the instability of the atmosphere, as well as the possibility of modeling deep convection, are considered.

*The first case.* On May 20, 2017, the territory of the Odessa region was influenced by a basin of low pressure, oriented from the north, which the system of occlusion front located in the east of the region was connected with. The intensity of the high-altitude frontal zone (AFZ) over the region was 20 dam \ 1000 km. The thermobaric field of the upper and middle troposphere was represented by a kernel of cold over the eastern part of Ukraine, which occupied the territory of the Odessa region and may contribute to the formation of deep convection zones [6]. The value of relative geopotential in the center of the reduced pressure over the east of Ukraine reached 552 dam. The advection of cold spread from the northeast to the southwest to areas of the Balkan Peninsula. Intense vertical upward flows of 10-20 hPa / h were observed on the surface of the AT-500. On the AT-850 map, the region of reduced pressure occupied the entire territory of eastern Ukraine and the Azov-Black Sea basin, and the cold center with a temperature of  $2^{\circ}$  C was located over eastern Ukraine.

Thus, in the lower layers above the Odessa region advection of warm air was observed, which increased the possibility of hail formation. According to the precipitation distribution map at 12.00 UTC, the precipitation zone with the intensity of 15-20 mm / 3 h was located above the territory of Odessa region. (Fig. 1).

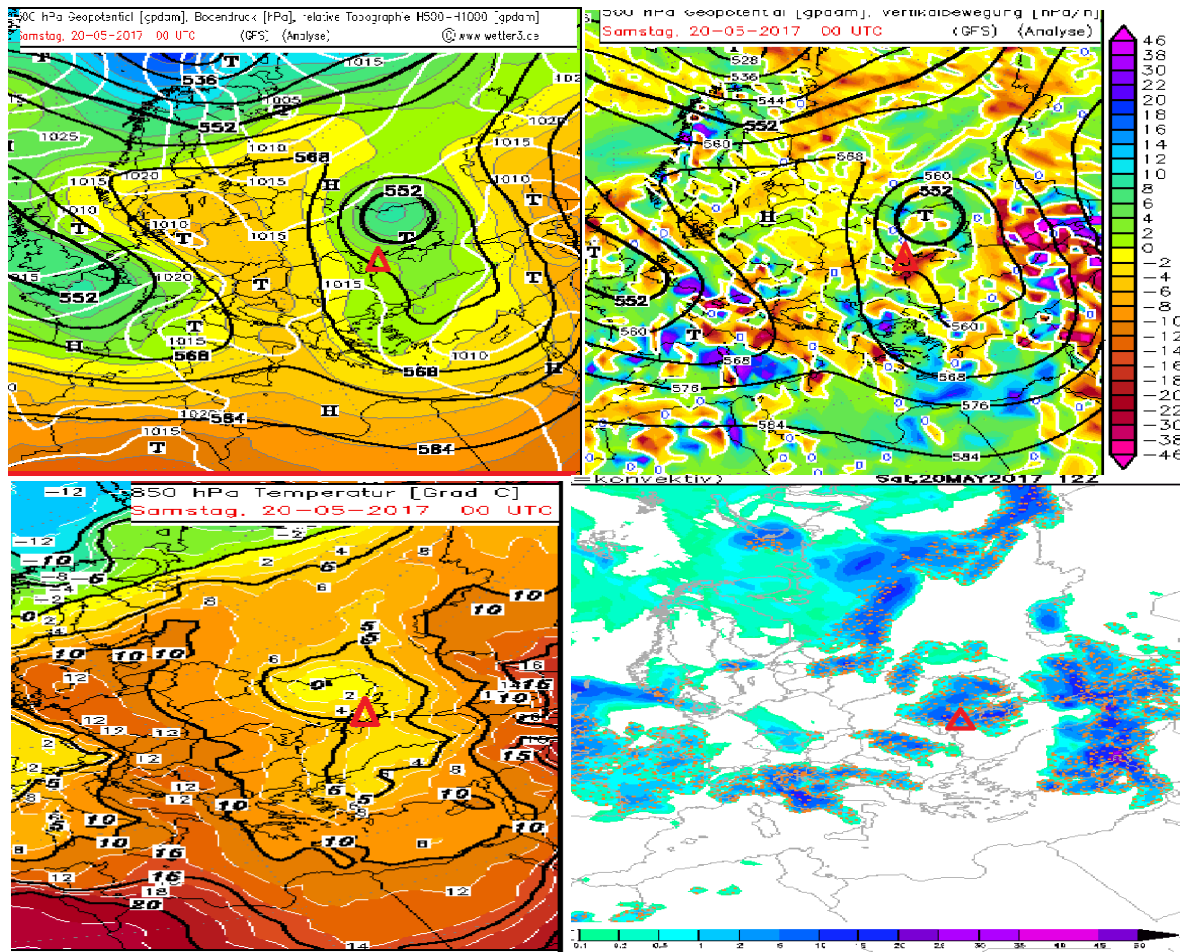


Fig. 1. Maps VT-500/1000, AT-500 (vertical streams), AT-850 and precipitation fields, 20.05.2017 00 UTC [29]

The low-gradient high-pressure baric field at the earth's surface caused a relatively weak wind (2-3 m/s), and a surface inversion was also observed. The transition from ground-level anticyclone circulation to cyclonic circulation in the middle and upper troposphere was determined by a sharp increase in wind from an altitude of 700-800 m (Fig. 2a).

According to the temperature-wind sounding at the Odessa-HMO station at 00 UTC, the level of convection was 470 hPa. The vertical temperature gradient in the 984 to 720 hPa layer was dry adiabatic and in the 700 to 560 hPa layer exceeded the moisture adiabatic one. The magnitude of the instability energy increased above the 700 hPa level, where the average deviation of the state curve from the stratification curve was 20C (Fig. 2b).

The condensation level was at an altitude of 810 hPa, which is high enough for convective precipitation. The air mass at the surface up to the level of 600 hPa was dry (42-35%), but at the level of 580 hPa the relative humidity reached 90%, a sharp decrease of humidity up to 18-23% was observed above. Such a distribution of humidity increased the potential instability of the air mass. The wind velocity in the surface layer was 2-3 m / s, increasing

in the middle troposphere to 15 m / s. A sharp increase of wind speed was observed from the level of 300 to 200 hPa, where jet current was detected at a speed of above 30 m / s. Thus, the vertical distribution of thermodynamic parameters of air mass according to the data of night sounding at Odessa station was not typical for the formation of hail clouds, so in order to predict the development of powerful convection, which can cause hail, information that is close to the time of the event is needed.

At present 26 indices of instability are widely known in the world, which are used to predict convective instability phenomena [12, 28]. For the hail forecast observed at the meteorological stations Odessa-Airport and Odessa-HMO on 05/20/2017, in the framework of this study 9 parameters of convective instability of the atmosphere were used. The calculation of the instability indices was performed according to the objective analysis of GFS (Global Forecast System), with a grid step of  $0.250 \times 0.250$  M. The values of the calculated indices are presented in Table. 1. In addition, according to data of the objective analysis using a specialized RAOB software, an aerological chart was constructed at 09.00 UTC 20.05.2017 (Fig. 3).



Table 1

Values of atmospheric instability parameters according to indices calculated from objective GFS analysis

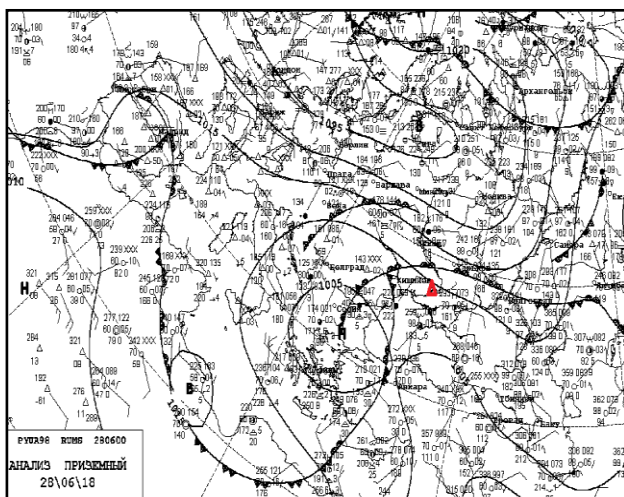
Indices	Index values
SBCAPE (J / kg)	594
SBCIN (J / kg)	0
BoydexI	<b>97,2</b>
VGP	0,102
Li (°C)	<b>-3</b>
KI	29
SWET	<b>224,8</b>
TT	<b>55,5</b>
SRH <sub>0-3 km</sub> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	70

instability with the level of convection development 7281 m, high values of the SWEAT index, TT index and Boyden index. It should also be noted that local conditions, such as the presence of a land-sea delimitation, played a significant role in the formation of hail in the coastal zone.

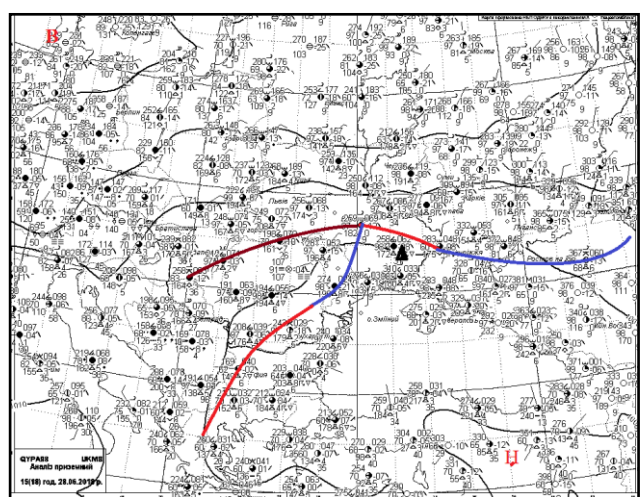
In this case, the difficulty of hail predicting near Odessa on May 20, 2017 first of all can be explained by the absence of a radiosounding in the afternoon, because night sounding cannot provide information for the prediction of convective phenomena that develop in the afternoon. Also, a rare network of aerological stations does not allow obtaining actual information on the thermodynamic characteristics of the troposphere in the region. But a significant impact on the success of forecasting hazardous meteorological phenomena that are locally and "explosive" in nature can have the use of high spatial resolution forecasting models and objective analysis data from GFS or other resources.

The second case was observed on June 28, 2018, when the territory of the Mykolaiv region was influenced by the warm sector of cyclone with the center over the Balkans and a minimum pressure of 1005 hPa (Fig. 4a). An occluded polar frontal system is associated with this baric formation. In the daytime the air near the surface warmed to 28-34 °C, except in the northwestern regions, where due to the cloudiness of the cold front, warming was negligible (up to 19-21 °C). The advection of heat in the lower troposphere and the focus of cold at an altitude of 5 km and above determined the thermobaric structure of the altitude field of pressure over the territory of southern Ukraine. Such distribution of heat and cold zones by altitudes is one of the characteristic prognostic features of the possibility of forming a heavy hail cloudiness. According to the circular map at 15.00 UTC, the polar front with waves and a linear system of cumulonimbus clouds (Fig. 4b) was passing in the area of Yuzhnoukrainsk and the atmospheric pressure decreased to 999.7 hPa. Meteosat satellite data confirm the presence of a series of mesoscale convective complexes (MCC) over southern Ukraine (Fig. 5), where heavy rains, thunderstorms and hail were observed.

To verify the methodology of hail forecast according to the data of objective analysis of GFS and specialized RAOB software, an aerological chart was constructed for June 28, 2018 for the meteorological station Yuzhnoukrainsk, Mykolaiv region



a)



b)

Fig. 4. Surface map 28.06.2018. 06.00 UTC

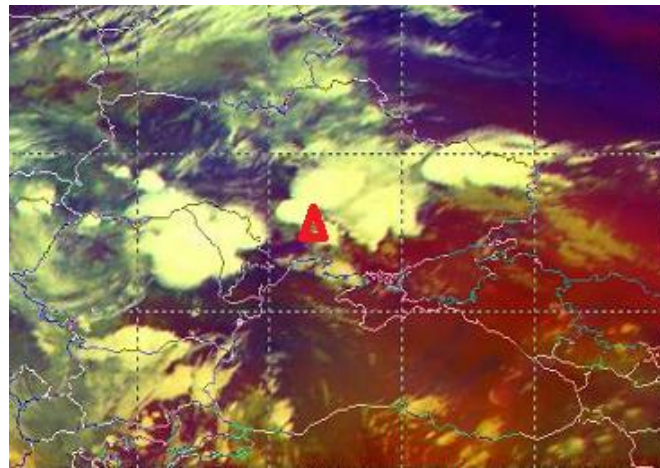


Fig. 5. Satellite data 28.06.2018. 15.00 UTC

(Fig. 6), at which an extraordinary hail was registered at 15.05 UTC. The size of the hailstones was 65 mm, which is 1.5 times higher than the criteria of the MFI III ( $D > 40$  mm). According to model data at 15 UTC, a hail of 1.33 inches (34 mm) was forecasted.

The parameters of convective instability of the atmosphere in this case were classified depending on which layers of the atmosphere were evaluated by the instability degree as the main predictor of hail hazard. Most indices estimate the instability degree in the cloud layer (Table 2) or the cloud and undercloud layers (Table 3). This is explained by the fact that the ascending vertical movements start in

the warm humid air of the undercloud layer, and in the cloud layer they intensify, where hydrometeors (water droplets, ice particles, snow groats) accumulate [2, 10, 11]. The indices given in the table describe the instability degree of the atmosphere quite well and allow to determine the development of high-probability hail cloudiness. Almost all parameters reach or exceed limits. The SBCAPE parameter, which is a measure of the instability of the atmosphere, shows "strong instability" (2500-4000 Jkg<sup>-1</sup>), the Boiden index - 97.2 (the higher the index, the higher the probability of thunderstorms), the index K exceeds the critical value twice (20 and above), the Index Li also has a critical limit (-80C).

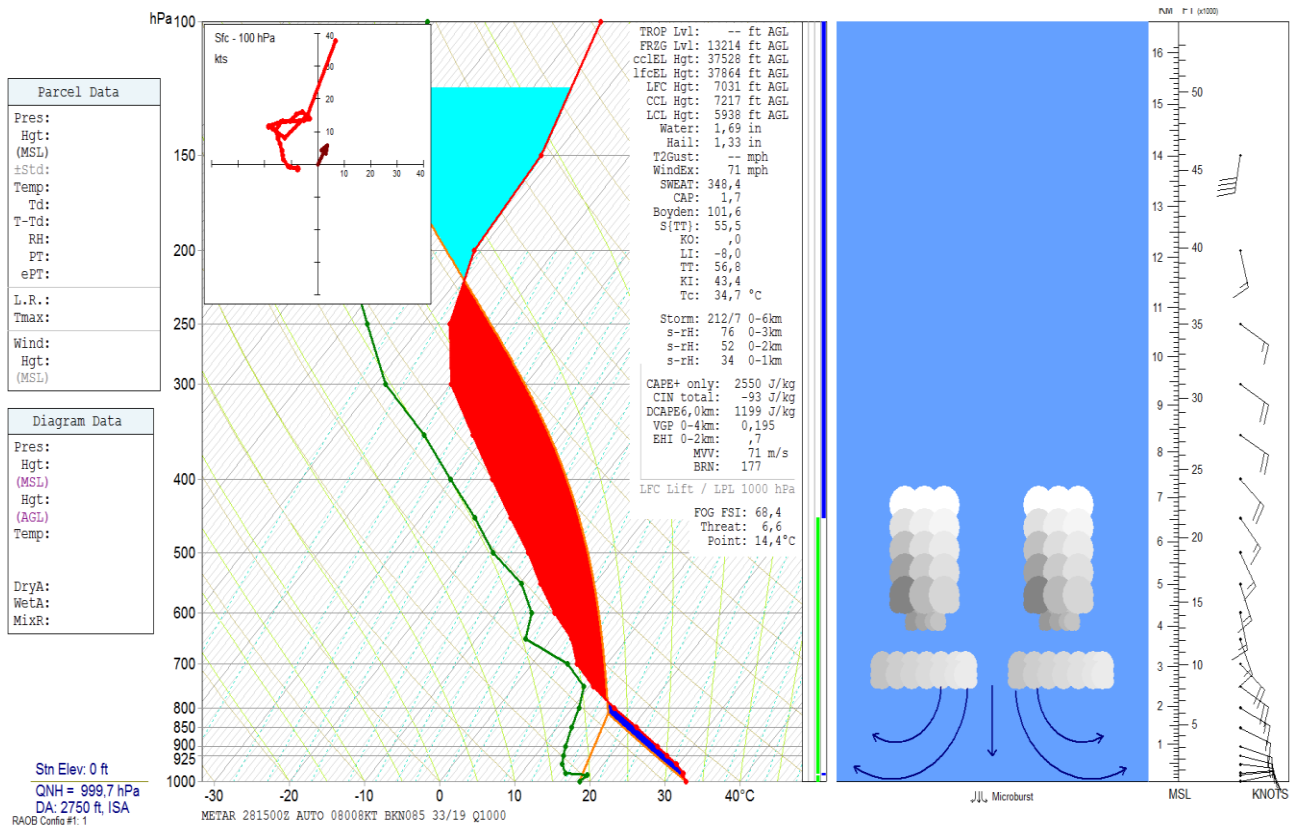


Fig. 6. Aerological diagram of the Yuzhnoукраїнська station. 15.00 UTC. 28.06.18

Table 2

Atmospheric indices, which estimate the instability degree of a cloud layer according to the objective analysis of GFS 06.28.2018

Indices	Index values
SBCAPE (J / kg)	2550
DCAPE (J / kg)	1199
BoydexI	97,2
VGP	0,195
KI	43,4
SWEAT	348,4
TT	56,8

Table 3

Atmospheric instability indices, which evaluate the instability degree of cloud and undercloud layers according to the data of objective analysis of GFS 06.28.2018

Indices	Index values
SBCIN (J / kg)	- 93
BoydexI	101,6
VGP	0,195
Li(°C)	-8

A characteristic feature of this case is the alternation of wet and dry layers in the troposphere. A moist layer of 1.5-2.0 km lies above the boundary layer of the atmosphere, above which there is a relatively dry layer. A significant shortage of humidity in the surface layer (16 °C) is also one of the predictors of the spontaneous hailstorm occurrence[11].

The trajectory of hail cloud movement in the area of Yuzhnoukrainsk is directed by the quasi-latitude (with azimuth of motion of about 90-130 °) in the layer of 0-3 km. (Fig. 7), which is more accurately predicted by the Bunkers method [15, 20, 24]. But above the 3-kilometer layer there was a shear of the wind and the vorticity of the flow was clearly

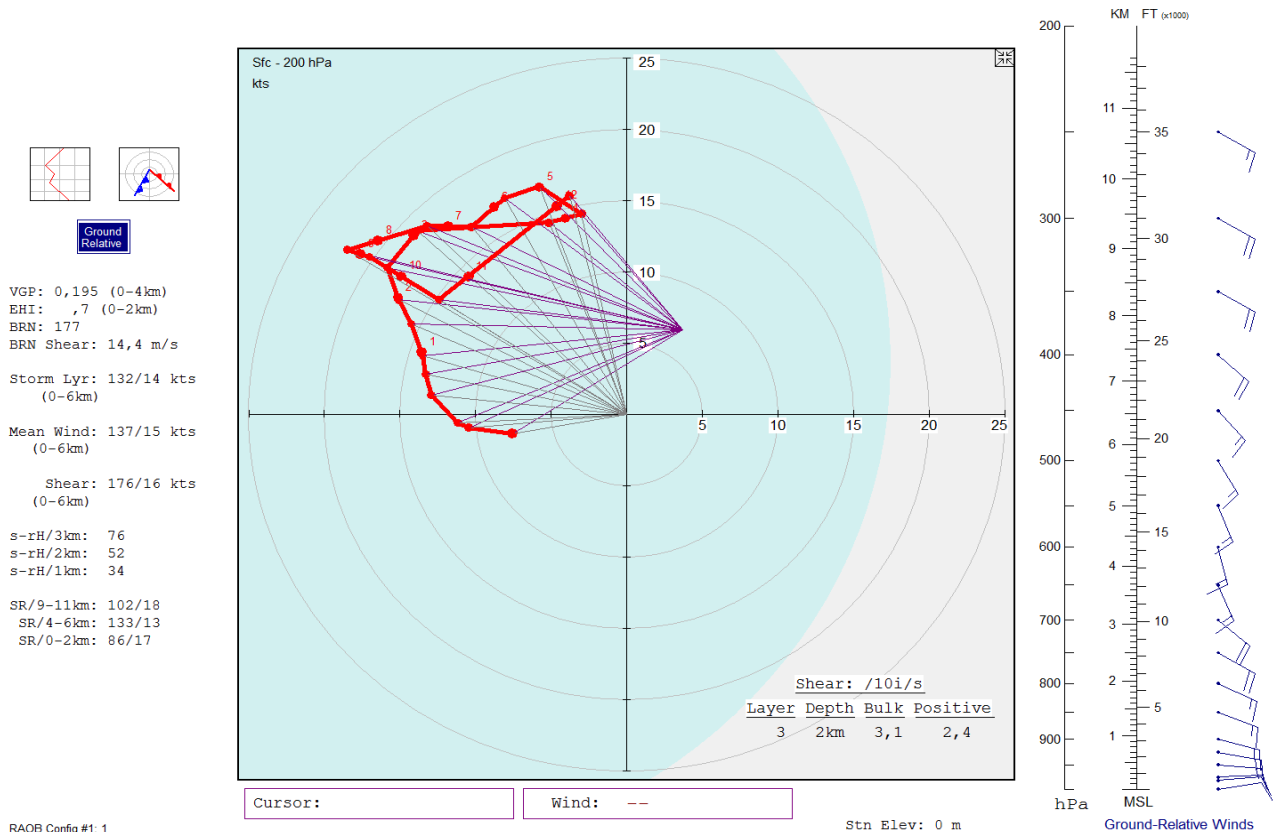


Fig. 7. Calculation of convective storm motion vector. Yuzhnoukrainsk station 15.00 UTS. 06.28.18

observed, which can be estimated by the shape and length of the hodograph as well as by the values of the Storm Relative Helicity (s-rH) index. In this case, the value of s-rH was  $76 \text{ m}^2/\text{s}^2$  and there was a right turn of the wind with height (the so-called "right storm") and an increase in the swirling upward flow in the middle troposphere. The vertical shear of the BRN shear horizontal wind was  $14.4 \text{ m/s}$ . The BRN index estimates the instability energy of a convective cloud and the vertical displacement of cumulus-rain cloud (Cb) layers relative to each other as it evolves, and includes floating energy (CAPE) and vertical horizontal wind shear, which in turn are the critical factors that determine the development, evolution and formation of a storm. In this case, the index value was quite high and reached 177. This

indicator shows the presence of relatively weak vertical wind shear and high CAPE, which implies the highest probability of a multi-chamber thunderstorm.

#### Conclusions.

- High values of the SWEAT, CAPE, Li (buoyancy parameter), BRN and Boyden I indices can be considered as the most informative predictors for hail forecasting according to the data of global hydrodynamic atmospheric models.

- The use of products of numerical simulation and taking into account the trend of changes in thermodynamic parameters with simultaneous analysis of features of synoptic position and regional conditions can improve the quality of the convective phenomena forecast (including hail).

#### Bibliography

1. Ашабоков Б.А. Физика градовых облаков и активных воздействий на них: состояние и направления развития / Б.А. Ашабоков, Л.М. Федченко, В.О. Тапасханов, А.В. Шаповалов, и др // Нальчик: ООО «Печатный двор». – 2013. – 216 с.
2. Буйков М.В. О росте града в суперячейковых градовых облаках. Метеорология и гидрология / М.В Буйков, А.Г. Кузьменко. – 1978. – №11. – С. 6-15.
3. Быков А.В. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей / А.В. Быков, А.Л. Ветров, Н.А. Калинин // Труды Гидрометцентра России, 2017. – Вып. 363. – С. 101-119.
4. Грушевський О.М. Про можливості діагнозу і прогнозу глибокої конвекції в оперативній діяльності / О.М. Грушевський, Н.М. Міщенко, В.Ф. Мансарлійський, В.М. Бурцев // Український гідрометеорологічний журнал, 2018. – № 22. – С. 5-15.
5. Данов Е.И. К анализу суперячейкового градового шторма в Причерноморье/ Е.И. Данов, Т.Е. Данова // Метеорология, климатология и гидрология: Межведомственный научный сборник Украины, 2001. – Вып. 44. – С. 61-66.
6. Руководство к прогнозу опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли. СПб.: Гидрометеиздат, 1996.
7. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град / Сулаквелидзе Г.К. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 412 с.
8. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) // За редакцією В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. Державна гідрометеорологічна служба. – Київ: Ніка-Центр, 2006. – 312 с.
9. Толмачева Н.И. Исследование параметров облачности и явлений по данным спутникового и радиолокационного зондирования / Н.И.Толмачева, Л.Н. Ермакова // Географический вестник, 2011. – № 3.
10. Финдайзен В. Экспериментальные исследования образования ледяных частиц. Физика образования осадков / В. Финдайзен, Г. Шульц. – М., 1951. – 312 с.
11. Шметер С.М. Термодинамика и физика конвективных облаков. – Л.: Гидрометеиздат. 1987, – 287 с.
12. Andersson T. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden / T. Andersson, M. Andersson, C. Jacobsson, S. Nilsson // Meteorol. Mag. – 1969. – Vol. 116. – P. 141-146.
13. Bedka K.M. Overshooting cloud top detections using MSG SEVIRI infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe / K.M. Bedka // Atmos Res. – 2011. – Vol. 99(2). – P. 175–189. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.001>
14. Browning K.A. Airflow and hail growth in super-cell storms and some implications for hail suppression [Text] / K.A. Browning, G.B. Foote // Nation. Hail Research Exper. – 1975. – №75/1.
15. Bunkers, M.J. Predicting supercell motion using a new hodograph technique. Weather and Forecasting [Text] / M.J. Bunkers et al. – 2000. – Vol.15. – P. 61-79.
16. Craven J.P. Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep, moist convection [Text] / J.P. Craven, and H.E. Brooks // Natl. Wea. Dig. – 2004. – Vol.28. P. 12–24.
17. Doswel C.A. On the use of indices and parameters in forecasting severe storms [Text] / C.A.Doswel, D.M. Schultz // Electron. J. Sev. Storms Meteorol. – 2006. –Vol. 1. – P. 1-14.
18. Dworak R. Comparison between GOES-12 overshooting-top detections, WSR-88D radar reflectivity, and severe storm reports. [Text] / R. Dworak, K.M. Bedka, J. Brunner, W. Feltz // Weather Forecast. –2012. – 27(3). – P. 684–699. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-11-00070.1>
19. Fawbush E.F. A method for forecasting hailstone size at the earth's surface. [Text] / E.F. Fawbush and R.C. Miller // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1953. – Vol. 34. – P. 235–244.

20. Kahraman A. Severe Hail Climatology of Turkey [Text] / A. Kahraman, S. Tilev-Tanriover, D.M. Schultz // *Monthly Weather Review*. – January 2016. – 144(1):337-346. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0337.1>
21. Mossop S.C. The origin and concentration of ice crystals in clouds [Text] / S.C. Mossop // *Bull. Amer. Soc.* – 1982. – Vol. 66. – P. 264-273.
22. Punge H.J. A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe [Text] / H.J. Punge, K.M. Bedka, M. Kunz, A. Werner // *Springer*. – 2014. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1161-0>
23. Tuovinen J. Climatology of severe hail in Finland: 1930–2006 [Text] / J. Tuovinen, A. Punkka, J. Rauhala, H. Hohti, D.M. Schultz // *Mon Weather Rev.* – 2009. – Vol. 137(7):2238–2249. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2707.1>
24. Vasques T. *Instability, Skew-T & Hodograf. Handbook*. [Text] / Vasques T. – 2017. – USA.
25. Webb R. *Forecasting thunderstorms and severe thunderstorms using computer models* [Text] / R. Webb, P. King // NSW Office. Commonwealth Bureau of Meteorology. Sydney. NSW. Australia. – 2009. – P. 67-76.
25. Webb J. (2001) *Climatology of severe hailstorms in Great Britain* [Text] / J. Webb, D. Elsom, D. Reynolds // *Atmos Res.* – 2001. – Vol. 56(14). – P. 291–308. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(00\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(00)00081-8)
26. Zhang C. *Climatology of hail in China: 1961–2005*. [Text] / C. Zhang, Q. Zhang, Y. Wang // *J Appl Meteorol Climatol.* – 2008. – Vol. 47(3). – P. 795–804.
27. *Convective Season Environmental Parameters and Indices* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wx.awcolley.com/Meteorology/ConvParmsIndices#LIFTED>
28. *Wetterzentrale Top Karten* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map>
29. *European Severe Weather Database*: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?&lang=en\\_0](http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?&lang=en_0)

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

UDC 551.509.5

**Ellina Agayar,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str, 65016, Odessa, Ukraine,  
e-mail: [agayarellina@gmail.com](mailto:agayarellina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3914-6288>;

**Alina Semerhei-Chumachenko,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology Odessa State Environmental University,  
e-mail: [asemergey2016@gmail.com](mailto:asemergey2016@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>;

**Svitlana Zubkovich,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth,  
Kharkiv National Aerospace University, 17 Chkalov Str, 61070, Kharkiv, Ukraine,  
e-mail: [szubkovich@gmail.com](mailto:szubkovich@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6839-7572>

## APPLYING PREDICTION MODELS FOR SHORT-TERM HAIL FORECASTING IN SOUTHERN UKRAINE

**Formulation of the problem.** Often natural disasters cause significant damage to the economy and the population, having a devastating nature, especially when a complex of dangerous weather conditions are created, which mutually reinforce their negative impact: storm rains accompanied by storm winds, thunderstorms with hail, etc. Increasing the validity and timeliness of storm warnings about hail occurrence is one of the main urgent tasks of operational meteorological support.

The geographical position of Ukraine, the diversity of climatic conditions and the features of the synoptic processes on its territory contribute to the complex spatial and temporal distribution of the occurrence of natural meteorological phenomena (NMP). In recent years, the frequency of extreme weather phenomena has increased due to significant climate fluctuations. Often natural disasters cause significant damage to the economy and the population, having a devastating nature, especially when a complex of dangerous weather conditions is created. These weather conditions mutually reinforce their negative impact: storm rains accompanied by storm winds, thunderstorms with hail, etc. Increasing the validity and timeliness of storm warnings about hail occurrence is one of the main urgent tasks of operational meteorological support.



**The purpose of the article** to study the synoptic and thermodynamic conditions of large hail occurrence in the territory of southern Ukraine, as well as the possibility of using forecasting models for short-term forecast of hail.

**Methods.** Using of high spatial resolution forecasting models and GFS objective data or other resources.

**Results.** The conditions of occurrence of two cases of hailstorms in the territory of the south of Ukraine in 2017-2018 are determined. In the first episode hail was not forecasted by the weather forecasters, due to the lack of daily radio-sounding data and a rare network of aerological observations, in the other one, an extraordinary hail ( $D = 65$  mm) was observed. As predictors in forecasting of hail and other convective phenomena it is rational to use quantitative characteristics of the atmosphere instability. Possibilities of applying different convective storm indices, as well as the use of the Global Forecast System (GFS) numerical simulation forecast data with a grid step of  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  meridians were evaluated. It has been found that the forecast of moving hail clouds is effectively implemented by using the Bunkers method.

**Scientific novelty and practical significance.** The most informative parameters of the thermodynamic state of the atmosphere the day before hail formation have been identified - Severe Weather ThrEAT Index (abbreviated SWEAT), Convective Available Potential Energy (abbreviated CAPE), Li (Lifted Index), BRN (Bulk Richardson Number), and VI (Boydén I). Recommendations are given to improve the quality of short-term hail forecast, taking into account numerical simulation data.

**Keywords:** hail, spontaneous meteorological phenomena, convective processes, deep convection modeling, atmospheric instability indices.

#### References

1. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tapashkanov V. O., Shapovalov A.V. et al. (2013). *Fizika gradovykh oblakov i aktivnykh vozdeystviy na nikh: sostoyaniye i napravleniya razvitiya [Physics of hail clouds and active impact on them: state and directions of development]*. Nal'chik: OOO «Pechatnyy dvor», 216.
2. Buykov M.V., Kuz'menko A.G. (1978). *O roste grada v superyacheykovykh gradovykh oblakakh [On the growth of hail in supercell hail clouds]*. *Meteorologiya i gidrologiya*, 11, 6-15.
3. Bykov A.V., Vetrov A.L., Kalinin N.A. (2017). *Prognoz opasnykh konvektivnykh yavleniy v Permskom kraye s ispol'zovaniyem global'nykh prognosticheskikh modeley [Forecast of dangerous severe convective storm in the Perm Territory using global predictive models]*. *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 363, 101-119.
4. Hrushevs'kyy O.M., Mishchenko N.M., Mansarliys'kyy V.F., Burtsev V.M. (2018). *Pro mozhlivosti diahnozu i prohnozu hlybokoyi konveksiyi v operatyvniy diyal'nosti [On the opportunities of diagnosis and forecast of deep convection during operational activity]*. *Ukrayins'kyy hidrometeorolohichnyy zhurnal*, 22, 5-15.
5. Danov Ye.I., Danova T.Ye. (2001). *K analizu superyacheykovogo gradovogo shorma v Prichernomor'ye [On the analysis of a supercellular hail storm in the Black Sea region]*. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya: Mezhdomstvennyy nauchnyy sbornik Ukrainy*, 44, 61-66.
6. *Rukovodstvo k prognozu opasnykh osadkov, grada i shkvalov po dannym meteorologicheskikh radiolokatorov i iskusstvennykh sputnikov Zemli [Guide to forecasting hazardous precipitation, hail and squalls based on data from weather radars and satellites]* (1996). SPb.: Gidrometeoizdat.
7. Sulakvelidze G.K. (1968). *Livnevyye osadki i grad [Heavy rainfall and hail]*. L., Gidrometeoizdat, 412.
8. *Stykhiyni meteorolohichni yavlyshcha na terytoriyi Ukrayiny za ostannyye dvadtsyatyrichchya (1986-2005rr.) [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005)]* (2006). *Za redaktsiyeyu V.M. Lipins'koho, V.I. Osadchoho, V.M. Babichenko. Ukrayins'kyy naukovo-doslidnyy hidrometeorolohichnyy instytut. Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba. Kyiv, Nika-Tsentr*, 312.
9. Tolmacheva N.I., Yermakova L.N. (2011). *Issledovaniye parametrov oblachnosti i yavleniy po dannym sputnikovogo i radiolokatsionnogo zondirovaniya [Research of cloudiness parameters and phenomena according to satellite and radar sounding data]*. *Geograficheskyy vestnik*, 3.
10. Findayzen V., Shul'ts G. (1951). *Eksperimental'nyye issledovaniya obrazovaniya ledyanykh chastits. Fizika obrazovaniya osadkov [Experimental studies of the ice particles formation; Physics of precipitation]*, M., 312.
11. Shmeter S. M. (1987). *Termodinamika i fizika konvektivnykh oblakov [Thermodynamics and physics of convective clouds]*. L., Gidrometeoizdat, 287.
12. Andersson T., Andersson M., Jacobsson C., Nilsson, S. (1969). *Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden*, *Meteorol. Mag.*, 116, 141-146.
13. Bedka K.M. (2011). *Overshooting cloud top detections using MSG SEVIRI infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe*. *Atmos Res.*, 99(2), 175-189. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.001>
14. Browning K.A. (1975). *Airflow and hail growth in super-cell storms and some implications for hail suppression*. *Nation. Hail Research Exper.*, 75/1.
15. Bunkers M.J. et al. (2000). *Predicting supercell motion using a new hodograph technique*. *Weather and Forecasting*, 15, 61-79.
16. Craven J.P. and H.E. Brooks (2004). *Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep,*

- moist convection. *Natl. Wea. Dig.*, 28, 12–24.
17. Doswel C.A., Schultz D.M. (2006). On the use of indices and parameters in forecasting severe storm. *Electron. J. Sev. Storms Meteorol.*, 1, 1-14.
18. Dworak R., Bedka K.M., Brunner J., Feltz W. (2012). Comparison between GOES-12 overshooting-top detections, WSR-88D radar reflectivity, and severe storm reports. *Weather Forecast*, 27(3), 684–699. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-11-00070.1>
19. Fawbush E.F., and R.C. Miller (1953). A method for forecasting hailstone size at the earth's surface. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 34, 235–244.
20. Kahraman A., Tilev-Tanriover S., Schultz Severe D.M. (2016). Hail Climatology of Turkey. *Monthly Weather Review*, 144(1), 337-346 <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0337.1>
21. Mossop S.C. (1982). The origin and concentration of ice crystals in clouds. *Bull. Amer. Soc.*, 66, 264-273.
22. Punge H. J., Bedka K. M., Kunz M., Werner A. (2014). A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1161-0>
23. Tuovinen J, Punkka A, Rauhala J, Hohti H, Schultz D.M. (2009). Climatology of severe hail in Finland: 1930–2006. *Mon Weather Rev* 137(7), 2238–2249. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2707.1>
24. Vasques T. (2017). *Instability, Skew-T & Hodograf. Handbook*. Vasques T., USA.
25. Webb R., King P. (2009). *Forecasting thunderstorms and severe thunderstorms using computer models*. NSW Office. Commonwealth Bureau of Meteorology. Sydney. NSW. Australia, 67-76.
25. Webb J, Elsom D, Reynolds D (2001). Climatology of severe hailstorms in Great Britain. *Atmos Res* 56(14), 291–308. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(00\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(00)00081-8)
26. Zhang C, Zhang Q, Wang Y (2008). Climatology of hail in China: 1961–2005. *J Appl Meteorol Climatol* 47(3), 795–804.
27. Convective Season Environmental Parameters and Indices Available at: <http://wx.awcolley.com/Meteorology/ConvParmsIndices#LIFTED>
28. Wetterzentrale Top Karten Available at: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map>
29. European Severe Weather Database: Available at: [http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?&lang=en\\_0](http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?&lang=en_0)

УДК: 551.513.1:551.551.8+556.55

**Володимир Григорович Волошин,**

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології і кліматології,  
Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: [voloshin.vg@ua.fm](mailto:voloshin.vg@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-6607-0755>;

**Степаненко Сергій Миколайович,**

д. геогр. н., професор кафедри метеорології і кліматології,  
Одеський державний екологічний університет,

e-mail: [rector@odeku.edu.ua](mailto:rector@odeku.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-6343-3968>;

**Шакірманова Жаннетта Рашидівна,**

д. геогр. н., професор кафедри гідрології суші,  
Одеський державний екологічний університет,

e-mail: [jannettodessa@gmail.com](mailto:jannettodessa@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>;

**Куришина Вікторія Юрївна,**

к. геогр. н., ст. викладач кафедри метеорології і кліматології,  
Одеський державний екологічний університет,

e-mail: [kuryshyna.88@gmail.com](mailto:kuryshyna.88@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1936-5790>

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГО БАЛАНСОВОЇ МОДЕЛІ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВИПАРОВУВАННЯ З ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

При вирішенні гідрологічних завдань, пов'язаних з водним балансом водойм і можливістю господарського використання їх водних ресурсів, важливою проблемою є точне визначення випаровування з водної поверхні, яке є основною складовою втрат води. Особливо гостро стоїть питання визначення випаровування з водної поверхні невеликих водойм, які знаходяться в умовах посушливого клімату і для яких випаровування може бути значним.

При цьому найбільш надійним способом розрахунку випаровування з поверхні води є використання параметричних атмосферних LS-моделей, які дозволяють врахувати всі особливості волого-теплообміну між земною поверхнею і атмосферою. Однією з таких моделей є енергобалансова модель SLEB (Surface Layer Energy Balance), яка розроблена в Одеському державному екологічному університеті, вихідними даними якої є стандартна метеорологічна інформація. Перевагою даної моделі є висока точність визначення втрат тепла на випаровування при достовірних оцінках маса-теплообміну між підстильною поверхнею і атмосферою. Метою даного дослідження є розрахунки кількісних змін випаровування з водних поверхонь за допомогою моделі SLEB та їх порівняння з вимірними і модельними даними, отриманих аналогічними методами інших авторів (Іванова, Пенмана) на прикладі прісноводного озера Ялуг. Результати показали, що розрахункові величини випаровування з водної поверхні за методами Пенмана і Іванова завищують кількість вологи, що випарувалася в порівнянні з вимірюваними та розрахованими за моделлю SLEB величинами.

Таким чином, застосування моделі SLEB дозволяє покращити точність кількісної оцінки втрат води на випаровування з водної поверхні водойм, що в свою чергу, може підвищити ефективність управління водними ресурсами природних водойм з метою їх раціонального використання для питного водопостачання та зрошення земель.

**Ключові слова:** параметричні моделі, волого-теплообмін, енергобалансова модель, взаємодія атмосфери і поверхні, рівняння теплового балансу підстильної поверхні, хвилювання, випаровування з водної поверхні, потенційне випаровування

**В. Г. Волошин, С. Н. Степаненко, Ж. Р. Шакірманова, В. Ю. Куришина. ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОБАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ С ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.** При решении гидрологических задач, связанных с водным балансом водоемов и возможностью хозяйственного использования их водных ресурсов, важной проблемой является точное определение испарения с водной поверхности, которое является основной составляющей потерь воды. Особенно остро стоит вопрос определения испарения с водной поверхности небольших водоемов, которые находятся в условиях засушливого климата и для которых испарение может быть значительным.

При этом, наиболее надежным способом расчета испарения с поверхности воды является использование параметрических атмосферных LS-моделей, которые позволяют учесть все особенности влаго-теплообмена между земной поверхностью и атмосферой. Одной из таких моделей является энергобалансовая модель SLEB (Surface Layer Energy Balance), разработанная в Одесском государственном экологическом университете, исходными данными для которой является стандартная метеорологическая информация. Преимуществом данной модели является высокая точность определения затрат тепла на испарение при достоверных оценках масса-теплообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой. Целью данного исследования является расчеты количественных изменений испарения с водных поверхностей с помощью модели SLEB и сравнение их с измеренными и модельными данными, полученных аналогичными методами других авторов (Иванова, Пенмана) на примере пресноводного озера Ялуг. Результаты показали, что расчетные величины испарения с водной поверхности по методам Пенмана и Иванова превышают количество испарившейся влаги по сравнению с измеренными и рассчитанными моделью SLEB величинами.

Таким образом, применение модели SLEB позволяет повысить точность количественной оценки основной составляющей водного баланса - потерь воды на испарение с водной поверхности водоемов, что, в свою очередь, может увеличить эффективность управления водными ресурсами естественных водоемов с целью их рационального использования для питьевого водоснабжения и орошения земель.

**Ключевые слова:** параметрические модели, энергобалансовая модель, взаимодействие атмосферы и поверхности, уравнение теплового баланса подстилающей поверхности, волнообразование, испарение с водной поверхности, потенциальное испарение.

**Вступ.** Випаровування є одним з основних процесів переносу вологи в гідрологічному циклі і найважливішою складовою витратної частини водних балансів водоймищ. Для невеликих водойм, що знаходяться в умовах посушливого клімату, втрати води на випаровування з їх водної поверхні можуть відігравати суттєву роль. До таких водних об'єктів належать прісноводні озера посушливого регіону Придунав'я в межах степової зони плоскої Причорноморської низовини України. Водні ресурси озер є одним з поверхневих джерел води на водопостачання населення і зрошення сільськогосподарських культур. Значні величини випаровування, особливо в літній період року, призводять до зменшення рівнів і підвищення мінералізації води озер, яка перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води. Це не дозволяє використовувати воду озер для питного водопостачання і зрошення, що створює соціально-економічну напругу регіону в цілому.

Тому одним з елементів ефективного управління водними ресурсами водойм є максимально точна кількісна оцінка випаровування, як найважливішої складової їх водного балансу. Але ж до теперішнього часу проблема надійної оцінки випаровування з природних водойм все ще не вирішена.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Складнощі опису процесів випаровування з різних поверхонь і різноманітність їх фізико-географічних характеристик призвели до розробки безлічі різних методів оцінки сумарного випаровування (ET) з поверхні суші, випаровування з вільної поверхні води (E) і сумарної випаровуваності (PE) з поверхонь ґрунту-водирослинності.

В теперішній час використовується безліч непрямих і емпіричних методів розрахунку ET, E і PE. Найбільш відомими є методи теплового балансу поверхні. Такі методи, з хорошим фізичним і математичним обґрунтуванням розробили М.І. Будико [1], В.С. Мезенцев [2], М.М. Іванов [3]; Penman-Monteith [4,5]; А.І. Будаговський [6]; О.Р. Константинов [7]; П.Ю. Пушистов, В.А. Шличков [8]; А.Н. Постников [9]; Priestly-Taylor [10]; W.Brutsaert [11] та ін.

Емпіричні (напівемпіричні) методи в основному використовують закон випаровування Дальтона, тобто наявність взаємозв'язку між швидкістю випаровування і дефіцитом вологості, а також широкий діапазон інших гідрометеорологічних даних, що визначають процес випаровування. На основі цих взаємозв'язків побудовано емпіричні методи розрахунку випаровування з різних підстильних поверхонь. Наприклад, метод перенесення маси, розроблений ще на початку

XX століття, застосовується до цих пір через його простоту і розумну точність оцінки випаровування з поверхні води [12]. Радіаційний метод визначає потенційне випаровування при застосуванні аналізу променистих потоків, що надходять до поверхні [13]. Температурний метод, який використовує тільки дані про градієнти температур поблизу досліджуваної поверхні, розглядається часто, як основний метод для оцінки випаровування [14].

Більшість емпіричних методів не мають універсальної застосовності, так як в більшості випадків, не можуть враховувати особливості різних підстильних поверхонь і особливості гідрометеорологічних умов, що впливають на процеси випаровування [4, 5, 7, 11, 12].

Єдино обґрунтованими методами оцінки фактичного або потенційного випаровування можуть служити тільки параметричні моделі, що засновані на чисельному рішенні рівняння теплового балансу поверхні, яке дозволяє врахувати всі особливості системи «ґрунт (вода) – рослинність – приземний шар атмосфери» (система SVAS: Soil - Vegetation - Atmosphere System) [15].

В теперішній час розроблено ряд одновимірних параметричних атмосферних моделей LSM (Land Surface Models), які, володіючи універсальністю і полімасштабністю, дозволяють виконувати комп'ютерне моделювання системи SVAS для будь-яких територій [16, 17], визначаючи динамічні і термічні параметри приземного шару атмосфери і природні абіотичні механізми стабілізації водної екосистеми.

Однією з таких моделей є атмосферна LS-модель приземного шару атмосфери SLEB (Surface Layer Energy Balance), створеної в Одеському державному екологічному університеті [18, 19]. На відміну від інших LS-моделей, модель SLEB може застосовуватися для всіх типів підстильних поверхонь, які характерні для території України. Головною перевагою розробленої моделі є висока точність визначення витрат тепла на випаровування при розрахунках масо-теплообміну в мікро- і мезомасштабах.

**Метою даної статті** є застосування параметричної моделі приземного шару атмосфери SLEB для розрахунку випаровування (випарності) з водних великих об'єктів в степовій зоні Причорномор'я з метою достовірної оцінки їх водного балансу та його змін за досліджуваний період, на прикладі прісноводного озера Ялпуг.

#### **Матеріали і методи досліджень.**

Для проведення досліджень була використана параметрична енергобалансова модель приземного шару атмосфери SLEB, яка містить блоки параметризації всіх фізичних процесів, що беруть участь в обміні енергією в системі «атмо-

сфера - гідросфера - рослинність - ґрунт». Основні її положення і результати використання опубліковані в [18, 19, 21, 22, 23].

В основі моделі SLEB лежить рішення рівняння енергобалансу поверхні, записаного у вигляді лінійного алгебраїчного рівняння, ліва частина якого являє приплив променистого тепла до поверхні, а права – втрату (відтік) тепла:

$$Q_{\text{сум}} + E_a - G = H + LE + E_s, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{сум}}$  – сумарна короткохвильова сонячна радіація (короткохвильовий баланс);  $E_a$  – довгохвильове випромінювання атмосфери;  $E_s$  – довгох-

$$u_* = \frac{\kappa \bar{U}(z)}{\ln(z/z_{0,u}) - \psi_u(\zeta)}; \quad q_* = \frac{\kappa(q_z - q_{z_0})}{\ln(z/z_{0,q}) - \psi_u(\zeta)}; \quad T_* = \frac{\kappa(T_z - T_{z_0})}{\ln(z/z_{0,T}) - \psi_T(\zeta)}; \quad (3)$$

$$k_u = \kappa u_* z / \varphi_u(\zeta) \quad (4)$$

де  $u_*$  – динамічна швидкість тертя (м/с) є мірою інтенсивності турбулентних пульсацій в потоці;  $\kappa$  – постійна Кармана;  $\bar{U}(z)$  середня швидкість вітру на рівні  $z = 10$  м;  $k_u$  – коефіцієнт турбулентності;  $T_*$  і  $q_*$  – масштаби потенційної температури і масової частки водяної пари, які розраховуються з урахуванням шорсткості поверхні і гідростатичної стійкості приземного шару атмосфери  $\zeta = z/L$ . Універсальна функція  $\psi_i(\zeta)$  визначає ступінь розбіжності логарифмічного профілю від лінійного і є інтегральною формою безрозмірних профільних функцій вітру і температури  $\varphi_u(\zeta)$ ,  $\varphi_T(\zeta)$ .

Рішення рівняння (1) полягає в знаходженні двох невідомих величин: температури повітря  $T_s$  поблизу поверхні на нижньому рівні логарифмічного шару  $z_0 \cong z_{0T}$  і критерію стійкості приземного шару  $\zeta = z/L$ . Безпосередньо температура поверхні ґрунту (води)  $T_{s0}$  визначається як сума температури повітря  $T_s$  і «стрибка» температури  $\delta T$  в'язко-буферному шарі повітря поблизу поверхні, тобто  $T_{s0} = T_s + \delta T$  [11]. Температура поверхні  $T_{s0}$  є однією з ключових фізичних величин теплового балансу, яка залежить від безлічі значень аргументів її функції.

Обчислювальні процедури, які використовуються для вирішення рівняння теплового балансу поверхні, побудовані на двох паралельних ітераційних циклах – зовнішній цикл за швидкістю вітру і внутрішній – за температурою поверхні. Внутрішній цикл використовує рекурсивні процедури, що дозволяють постійно звертатися до функцій, що містять невідомі величини  $T_{s0}$  і  $\zeta$ . Процес збіжності циклів припиняється, коли величини лівої і правої частини рівняння балансу

вильове випромінювання поверхні;  $G$  – молекулярно-кондуктивний потік тепла в ґрунті (воді);  $H$  і  $LE$  – турбулентні потоки явного і прихованого тепла, які параметризуються з урахуванням їх залежностей від гідростатичної стійкості атмосфери. Потоки  $G$ ,  $H$  і  $LE$  можуть змінювати знак, тобто змінювати напрямок перенесення енергії.

Турбулентний потоки імпульсу (м/с), тепла  $H$  (Вт/м<sup>2</sup>) і вологи  $LE$  (Вт/м<sup>2</sup>) розраховуються на основі теорії подібності Моніна-Обухова, основні формули якої, як відомо, записуються наступним чином:

$$H = -\rho c_p u_* T_*; \quad LE = -\rho L u_* q_*; \quad (2)$$

(1) сходяться з точністю, тобто виконується умова «замикання» рівняння балансу

$$0,975 \leq \frac{Q_{\text{сум}} + E_a - G(T_s)}{H(T_s, \zeta) + LE(T_s, \zeta) + E_s(T_s)} \leq 1,025. \quad (5)$$

Калібрування і верифікація моделі SLEB проводилася шляхом порівняння отриманих модельних величин з результатами актинометричних спостережень, вимірювань температури ґрунту, вимірювань потоків тепла в ґрунт і даними випаровування з різних поверхонь [18].

У даній роботі модель SLEB була використана для розрахунку кількісних змін випаровування з водної поверхні озера Ялпуг.

Основним показником кількості води, що випарувалася  $E$ , (кг/с·м<sup>2</sup> або мм/с) є турбулентний потік прихованої теплоти випаровування  $LE$ , (Дж/с·м<sup>2</sup> або Вт/м<sup>2</sup>), який розраховується моделлю SLEB з достатньою точністю при чисельному рішенні рівняння теплового балансу.

В якості вихідних модельних даних використані тільки стандартні метеорологічні спостереження метеостанції Болград (Одеська область, Україна) та ряд геофізичних параметрів району розташування метеостанції за період з 1996 до 2007 рр.

Метеостанція Болград розташована в Причорноморській низовині, у степовій географічній зоні України ( $\varphi = 45^{\circ}41'$  пн.ш.;  $\lambda = 28^{\circ}36'$  с.д.). Висота місцевості, щодо майданчика метеостанції, змінюється в радіусі 5 км в межах від 5 до 100 м. Висота метеомайданчика над рівнем моря становить 80 м. Поверхня метеомайданчика досить рівна, покрита травою і вільна від різного роду загороджень. Випарний басейн площею 20 м<sup>2</sup>, глибиною 2 м і висотою над поверхнею ґрунту 7 см, розташований в західній частині метео-

майданчика. На відстані більше 50 м від центру метеомайданчика знаходяться листяні дерева і житлові будови. На захід від метеомайданчика на відстані 3 км розташоване велике прісноводне озеро Ялпуг.

#### Результати досліджень.

На першому етапі досліджень проводилася оцінка випаровування з водної поверхні випарного басейну метеостанції Болград. Величини випаровування визначалися за допомогою моделі SLEB, а також за методами Пенмана [4, 5] та Іванова [3] за кожен термін метеорологічних спостережень (8 спостережень за добу) і далі підсумовувати за добу, місяць, рік. Загальний обсяг розрахункових даних за досліджуваний 12-річний період (з 1996 до 2007 рр.) склав 35040 спостережень. Узагальнені результати розрахунків представлені в табл. 1.

Для порівняння розрахункових і вимірних величин випаровування з водної поверхні випарного басейну використовувалися «Таблиці спостережень за випаровуванням з водної поверхні басейну» метеостанції Болград. У таблицю увійшли тільки дані, коли на поверхні басейну був відсутній лід.

Сумарне вимірне випаровування води з випарного басейну без урахування ледоставних періодів за 12 років склало  $E_{\text{вим, басейн}} = 9337$  мм (табл. 1, колонка 2), тобто в середньому за рік 778 мм.

Звернемо увагу на те, що випарний басейн знаходиться в степовій зоні з різним ґрунтовим шаром і рослинним покривом. Шорсткість такій місцевості, за нашими оцінками, змінюється від 0,01 м до 0,03 м в залежності від сезону року [18]. Отже, термічні і динамічні характеристики повітряного потоку, який формується в приземному шарі над такою місцевістю, значно відрізняються від повітряного потоку, який рухається над водною поверхнею водойми.

Звернемо увагу на те, що випарний басейн знаходиться в степовій зоні з різним ґрунтовим шаром і рослинним покривом. Шорсткість такій місцевості, за нашими оцінками, змінюється від 0,01 м до 0,03 м в залежності від сезону року [18]. Отже, термічні і динамічні характеристики повітряного потоку, який формується в приземному шарі над такою місцевістю, значно відрізняються від повітряного потоку, який рухається над водною поверхнею водойми.

Таблиця 1

Річні суми виміряного ( $E_{\text{вим}}$ ) і розрахункового випаровування за моделлю SLEB та методами Пенмана і Іванова ( $E_{\text{мод}}$ ) без урахування льодоставного періоду

Рік	$E_{\text{вим, басейн}}$ , мм	$E_{\text{мод}},$ мм (SLEB) басейн $z_0 = 0,002$ м	$E_{\text{мод}},$ мм (SLEB) басейн $z_0 = 0,0145$ м	$E_{\text{мод}},$ мм (SLEB) водойми, $z_0 = 0,0136$ м	$T_{\text{мод}}$ , вода, °С	$T_{\text{вим}}$ , повітря, °С	Опади, Р, мм	$E_{\text{мод}},$ мм (Пенман)	$E_{\text{мод}},$ мм (Іванов)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1996	810	691	802	783	10,4	10,4	608	854	810
1997	744	622	710	764	9,4	9,8	716	1153	717
1998	746	681	744	787	10,3	10,9	481	1003	775
1999	732	674	752	745	11,3	11,6	550	904	780
2000	829	738	818	818	11,5	11,8	432	952	1001
2001	775	734	802	820	10,9	11,3	475	1152	1128
2002	855	708	836	790	11,0	11,7	488	1043	930
2003	811	696	807	766	10,4	10,4	517	929	893
2004	652	585	644	636	10,9	11,1	590	726	672
2005	699	654	718	725	10,7	10,9	610	863	762
2006	783	677	776	756	10,6	10,9	423	874	826
2007	901	764	880	866	11,5	12,6	528	1088	1066
Сума	9337	8224	9289	9257	-	-	6419	11541	10360
Серед. рік	778	685	774	771	10,7	11,1	535	961	854

Оскільки вітрове обурення поверхні води залежить від швидкості вітру, то при слабких швидкостях вітру поверхня води в басейні залишається гладкою з шорсткістю  $z_0 = 10^{-4} \div 10^{-3}$  м. Зі збільшенням швидкості вітру на поверхні басейну утворюються зони брижів і шорсткість поверхні збільшується до  $2 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-3}$  м. Хвилеутворення на поверхні випарного басейну не відбувається, так як його лінійні розміри недостатні для

вітрового розгону хвиль.

Інструментально вимірне випаровування з басейну навряд чи можна інтерпретувати як випаровування з відкритої водної поверхні великої водойми. У кращому випадку, вимірні результати можна віднести до потенційно можливого випаровування води (випаровуваність) в цій місцевості при метеорологічних умовах, властивих району розташування басейну, тим більше,

що при взаємодії повітряного потоку з неоднорідною за аеродинамічними властивостями підстильної поверхнею виникають внутрішні граничні шари, зокрема, над водоймами (басейнами) оточеними сушею.

Розрахунки випаровування, виконані за умови, що поверхня басейну зберігає шорсткість  $z_0 = 0,002$  м, показали, що кількість вологи, яка випарувалася за досліджуваний період, зменшилася до 8224 мм (табл.1, колонка 3), а різниця між вимірним і розрахунковим випаровуванням склала 1113 мм, при середньорічному значенні випаровування 685 мм.

Зменшення величини випаровування, щодо вимірюваного, викликано відсутністю ефекту зовнішньої дифузії водяної пари з гладкої поверхні води. Ефект зовнішньої дифузії виникає тільки з розвитком турбулентності в приземному шарі атмосфери.

Збільшення шорсткості водної поверхні сприяє виникненню в повітряному потоці дрібних турбулентних вихорів, дисипація яких поблизу поверхні призводить до збільшення швидкості (енергії) виходу молекул води з насиченого шару в навколишнє середовище. Розрахунок випаровування при передбачуваній шорсткості рівній  $z_0 = 0,0145$  м і при збереженні метеорологічних умов попереднього розрахунку показав, що кількість вологи, що випарувалася збільшилася до  $E_{\text{мод.басейн}} = 9289$  мм (табл. 1, колонка 4), тобто модельні розрахунки випаровування практично збіглися з вимірним (фактичним) випаровуванням з басейну  $E_{\text{вим.басейн}} = 9337$  мм.

Оскільки при малій площі басейну шорсткість рівна  $z_0 = 0,0145$  м чи більша не може бути досягнута, то можна стверджувати, що процеси випаровування з басейну, розташованого в місцевості з добре розвиненою шорсткістю, залежатимуть від термічних і динамічних особливостей повітряного потоку, сформованого над цією місцевістю.

Річні суми вимірюваного  $E_{\text{вим.басейн}}$  і розрахункового випаровування  $E_{\text{мод.басейн}}$ , які показані в табл.1, представляють суми кількості води, що випарувалася за безльодоставний період кожного року. Сума опадів  $P$ , мм (табл.1, колонка 8) розрахована за 12 місяців. У табл. 1 також показані розрахункові середньорічні температури поверхні водойми  $T_{\text{мод.вода}}$  і виміряні температури повітря  $T_{\text{вим.повітря}}$  (колонки 6 і 7). Різниця середньорічних температур  $(T_{\text{мод.вода}} - T_{\text{вим.повітря}})$  від'ємні, тобто над поверхнею води існує інверсійний шар.

Повернемося до табл. 1, де в колонках 9 і 10 наведені суми випаровуваності, які розраховані за методами Пенмана (Penman-Monteith) [4, 5] і М.М. Іванова [3]. Обидва методи завищують кі-

лькість вологи, що випарувалася в порівнянні з вимірюваними та розрахованими за моделлю SLEB величинами. Ці завищення, очевидно, обумовлені відсутністю коректного урахування двох теплових потоків, а саме: турбулентного потоку явного тепла  $H$  і потоку тепла в воду  $G$ .

На другому етапі досліджень були виконані розрахунки випаровування з поверхні великих водойм, що знаходяться в природних умовах (на прикладі озера Ялпуг). Складність розрахунку випаровування з великих водойм обумовлена великою рухливістю поверхні водної системи, коли зі збільшенням швидкості вітру на поверхні виникають брижі, хвилі з різними висотами, довжинами і періодами. Вітрове хвилювання змінює як гідродинамічні властивості поверхні водної системи, так й аеродинаміку повітряного потоку.

Враховуючи сказане, для розрахунку випаровування з водойм в модель SLEB були включені параметри вітрового хвилювання, алгоритм утворення водяної піни (бризок) з гребеня хвиль, так зване «механічне випаровування», процеси зміни шорсткості водної поверхні в міру збільшення швидкості вітру і перехід частини кінетичної енергії вітру в енергію вітрових хвиль.

Для розрахунку параметрів хвиль використовувалися формули В.Г. Андреянової [24]:

$$\lambda_w = 0,104 \cdot \bar{U} \cdot l^{0,573} \cdot \sqrt[3]{d}, \quad (м); \quad (6)$$

$$h_w = 0,015 \cdot \bar{U} \cdot l^{0,342} \cdot \sqrt[3]{d}, \quad (м), \quad (7)$$

де  $\lambda_w$  – довжина хвилі, м,  $h_w$  – висота хвилі, м,  $\bar{U}$  – середня швидкість вітру, м/с,  $l$  – глибина водойми, м,  $d$  – дистанція розгону, м.

У табл. 2 показані результати розрахунків шорсткості великої водної поверхні водойми при різних швидкостях  $\bar{U}$  повітряного потоку і викликаних ним хвиль різної висоти. Розрахунки виконані за допомогою формул (6) і (7).

Середня висота шорсткості поверхні озера Ялпуг, що обчислена з урахуванням повторюваності швидкостей вітру  $P_U$ , % (м/ст Болград), виявилася рівною  $Z_{0, \text{ водойма}} = 0,0136$  м. Середня швидкість вітру за багаторічний період дорівнює  $\bar{U} = 2,54$  м/с, а середня висота хвиль  $h_w = 0,39$  м. При розрахунках не вводилися поправочні коефіцієнти на берегові ефекти і наявність водної рослинності.

При отриманому значенні середньої шорсткості водної поверхні за 12-річний період ( $Z_0 = 0,0136$  м) розрахункова величина дійсного випаровування, тобто кількість водяної пари, яка може бути виділена з поверхні чистої води при даних метеорологічних умовах з одиниці площі по-

Шорсткість водної поверхні з урахуванням розвитку вітрового хвилювання при різних швидкостях вітру, які розраховані за формулами В.Г. Андреянової

№ з/п	$\bar{U}$ , м/с	$h_w$ , м	$l$ , м	$d$ , м	$Z_{0, \text{водоїма}}$ , м	$P_U$ , %
1	0,5	0,008	2	500	0,002	6,5
2	1	0,15	2	500	0,005	23,4
3	2	0,3	2	500	0,011	28,5
4	3	0,5	2	500	0,016	20,5
5	4	0,6	2	500	0,022	9,7
6	5	0,8	2	500	0,027	4,6
7	6	0,9	2	500	0,032	4,2
8	7	1,1	2	500	0,038	1,4
9	8	1,2	2	500	0,043	0,7
10	9	1,4	2	500	0,048	0,3
11	10	1,5	2	500	0,054	0,2
Серед.	2,54	0,387	-	-	0,0136	100%

верхні озера Ялпуг, склала  $E_{\text{мод, водоїма}} = 9257$  мм за 12 річний період, при середньорічному значенні 771 мм (табл.1, колонка 5).

Таким чином, виміряне  $E_{\text{вим, басейн}} = 9337$  мм і розраховане  $E_{\text{мод, водоїма}} = 9257$  мм випаровування представляють потенційно можливу кількість рідкої вологи, яка може випаруватися з водної поверхні і з поверхні суші з необмеженими запасами води, при ідентичних кліматичних або погодних умовах, властивих району розташування метеостанції.

Фактичне (виміряне) випаровування з басейну  $E_{\text{вим, басейн}} = 9337$  мм і розраховані за допомогою моделі SLEB величини випаровування з місцевості розташування басейну  $E_{\text{мод, басейн}} = 9289$  мм і з водної поверхні озера Ялпуг  $E_{\text{мод, водоїма}} = 9257$  мм практично рівні між собою, оскільки в усіх трьох випадках використовувалися багаторічні метеорологічні спостереження метеостанції Болград.

Модель SLEB, крім розрахунку випаровування з водної поверхні, дозволяє розраховувати випаровування з будь-якої іншої поверхні.

На рис.1 представлений річний хід місячних сум виміряного ( $E_{\text{вим, басейн}}$ ) і розрахункового випаровування з поверхні озера Ялпуг ( $E_{\text{мод, водоїма}}$ ), а також випаровування з поверхні суглинного ґрунту і випаровування (транспірації) з поверхні з рослинним покривом, характерні для даної місцевості. Порівняння потенційно можливої випаровуваності і фактичного випаровування показує, що випаровуваність перевищує фактичне випаровування з поверхні ґрунту в 2,2 рази і в 1,7 рази з поверхні з рослинним покривом. Розрахунки виконані за чотири роки досліджуваного періоду (рис. 1).

На рис. 2 показано річні зміни добових сум енергії (МДж/м<sup>2</sup>доб) всіх компонент теплового балансу поверхні води. З аналізу отриманих ре-

зультатів випливає, що промениста енергія (радіаційний баланс), яка поглинена поверхнею, витрачається на формування потоків тепла  $LE$ ,  $H$ ,  $G$  наступним чином: 83% енергії радіаційного балансу йде на витрати тепла на випаровування  $LE/R=0,833$ ; 29% енергії радіаційного балансу витрачається на зміну запасів теплової енергії в водоїмі  $G$ , тобто  $G/R=0,289$ , а потік явного тепла  $H$ , при інтенсивних витратах тепла на випаровування, набуває від'ємних значень  $H/R= -0,145$ , тобто повертає частину енергії до поверхні.

Відношення суми енергії потоків ( $LE + H + G$ ) до енергії радіаційного балансу становить  $(LE + G + H) / R = 0,98325$ , тобто збіжність припливу і витрат енергії в рівнянні балансу (1), виконано моделлю SLEB з точністю до 1,67%, оскільки критерій «замикання» балансу (5) дорівнює  $BE = (1 - 0,98325) = 0,01675$ .

Висока точність оцінки складових теплового балансу дозволяє нам оцінити індекс сухості  $R/LE = 1,21$  для цієї місцевості за Будико та коефіцієнт зволоження місцевості  $P/E_{\text{мод}} = 0,70$  за Івановим. Отримані коефіцієнти відповідають степовій зоні плоскої Причорноморської низовини.

**Висновки.** Випаровування з водної поверхні, залежно від кліматичних умов, морфології і морфометрії водних об'єктів, відіграє дуже помітну роль в їх водному балансі. Надійний розрахунок випаровування з поверхні водоїм є важливим чинником підвищення точності водобалансових розрахунків. У цьому і полягає актуальність вибраної теми.

Автори вважають, що на зміну численним емпіричним методам розрахунку випаровування з різних підстильних поверхонь, достовірність яких до сих пір фактично не оцінена, повинні прийти параметричні моделі, які, володіючи універсальністю і полімасштабністю, дозволяють



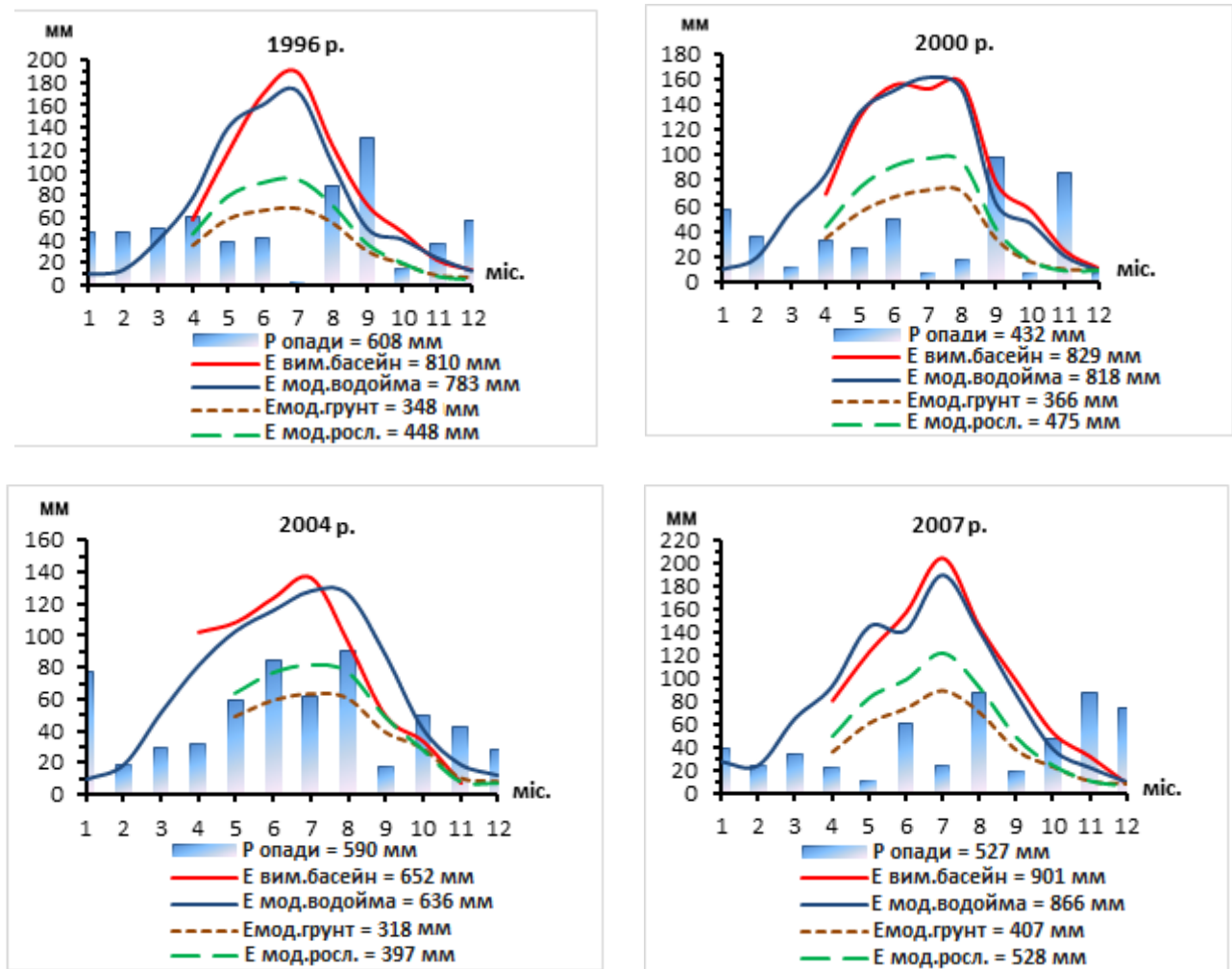


Рис. 1. Річний хід місячних сум атмосферних опадів (стовпчики), місячних сум випаровування з басейну м/ст Болград (червона суцільна лінія), річний хід випаровування з озера Ялпуг (синя суцільна лінія), випаровування з поверхні ґрунту (коричнева пунктирна лінія), транспірація з рослинності (зелена пунктирна лінія), розраховані за моделлю SLEB за 4 роки досліджуваного періоду (1996-2007 рр.)

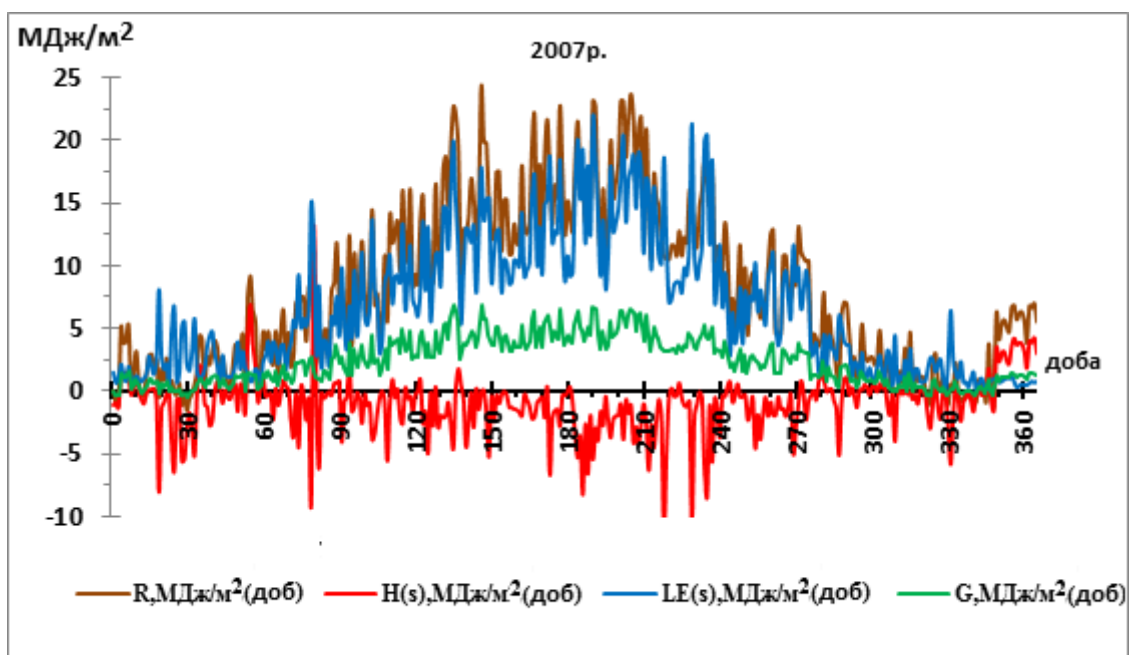


Рис. 2. Річний хід добових сум складових рівняння теплового балансу поверхні водойми,  $\text{МДж/м}^2\text{доб}$ .

виконувати досить точно комп'ютерне моделювання тепло- масообміну між поверхнею та атмосферою для будь-яких територій, оскільки:

- висока точність рішення рівняння теплового балансу за допомогою моделі SLEB дозволяє достовірно оцінити всі складові теплового балансу і, зокрема, витрати тепла на випаровування;
- розрахована за допомогою моделі SLEB величина випаровування з одиниці площі поверхні озера Ялпуг отримана вперше з урахуванням розвитку хвилеутворення на поверхні озера;
- результати, отримані за методами Пенмана (Penman-Monteith) і М.М.Іванова, показали значне завищення кількості вологи, що випарувалася в порівнянні з вимірюваними та розрахованими величинами;
- застосування моделі SLEB дозволить підвищити точність кількісної оцінки втрат води на випаровування з поверхні природних водойм, що дасть можливість збільшити і точність водобалансових розрахунків водойм і, отже, ефективність управління водними ресурсами з метою їх раціонального використання.

#### Література

1. Будыко М.И. Тепловой баланс поверхности [Текст] / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 256 с.
2. Мезенцев В.С. К методике расчета суммарного испарения и характеристики увлажнения почвы за внутригодовой период [Текст] / В.С. Мезенцев // Труды Омского сельхоз институт, 1962. – Т. XXVII. – С. 35-54.
3. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости [Текст] / Н.Н. Иванов // Изв. ВГО, 1954. – Т. 86. – № 2.
4. Beven Keith. A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates // Journal of Hydrology. – 1979. – 44 (3-4). – P. 169-190. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90130-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90130-6)
5. Monteith J.L., Penman H.L. Evaporation and environment // Symposia of the Society for Experimental Biology. – 1965. – №19. – P. 205-224.
6. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги [Текст] / А.И. Будаговский. – М.: Наука, 1969. – 241 с.
7. Константинов А.Р. Испарение в природе [Текст] / А.Р. Константинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 582 с.
8. Пушистов П.Ю., Шлычков В.А. Вывод балансовых соотношений для мезомасштабной климатической модели тепловлагодобмена в системе атмосфера - гидросфера - растительность - почва [Текст] / Пушистов П.Ю. // Труды СибНИГМИ, 1992. – № 100. – С. 129-146.
9. Постников А.Н. Методы расчета испарения с почвы в различных природных зонах [Текст] / А.Н. Постников // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2009. – №10. – С. 21-31.
10. Priestly С.Н.В. and Taylor R.J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-scale Parameters // Monthly Weather Rev. – 1972. – № 1. – P.81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2).
11. Brutsaert W. Evaporation in to the Atmosphere (Theory, History and Applications) // D. Reidel Publishing Co., Dordrech, Boston, London, 1982. – 299 p.
12. XU C.-Y and V.P. SINGH. Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland // Water Resources Management. – 2002. – № 16. – P. 197-219.
13. Jensen M.E. and Haise H.R. 'Estimation of Evapotranspiration from Solar Radiation // Journal of Irrigation and Drainage Division, Proc. Amer. Soc. Civil Eng. – 1963. – №89. – P. 1541.
14. Hargreaves G.H. and Samni Z.A. Estimation of Potential Evapotranspiration // Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. – 1982. – №108. – P. 223-230.
15. Berry J.A., Baker I., T. Randall, D.A. Sellers. Soils, plant growth and crop production // P. J. The Soil-Plant-Atmosphere System. Past and Present – Vol. 1. (Soil-Plant-Atmosphere Dynamics).
16. Chen F., Pielke R., Sr. K. Mitchell. Development and application of land-surface models for mesoscale atmospheric models // American Geophysical Union. – 2001. – P. 107-135. <https://doi.org/10.1029/WS003p0107>
17. Xiu A., Pleim J.E. Development of a land surface model. Part I: Application in a mesoscale meteorological model // J. Appl. Meteorol. – 2001. – V. 40. – № 2. – P. 192-209. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0192:DOALSM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0192:DOALSM>2.0.CO;2).
18. Волошин В.Г. Динамическая модель загрязнения атмосферы с метеорологическим препроцессором [Текст] / В.Г. Волошин. – Одесса: ТЭС, 2013. – 285 с.
19. Степаненко С.Н. Энергобалансовая модель приземного слоя атмосферы [Текст] / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин, В.Ю. Курьшина // Украинский гидрометеорологический журнал. – 2011. – № 9. – С. 38-59.
20. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова [Текст] / Ю.Л. Раунер. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 210 с.
21. Волошин В.Г. Метод расчета турбулентных потоков и температуры подстилающей поверхности на основе метеорологических наблюдений [Текст] / В.Г. Волошин // Метеорология, климатология и гидрология, 2002. – № 46. – С. 83-89.

22. Волошин В.Г. Функции диссипации турбулентной энергии в приземном слое атмосферы [Текст] / В.Г. Волошин, В.Ю. Курьшина // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2016. – № 15. – С. 2-8. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.09>.
23. Степаненко С.Н. Метод расчета температуры подстилающей поверхности по стандартным метеорологическим наблюдениям [Текст] / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин, В.Ю. Курьшина, Н.Д. Головатюк // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2012. – № 11. – С. 18-29.
24. Гиппиус Ф.Н. Сезонный ход испарения с поверхности Каспия с учетом влияния волнения и глубины моря [Текст] / Ф.Н. Гиппиус, В.С. Архипкин., А.В. Фролов // *Вестник московского университета. Серия.5. география*, 2016. – № 5. – С. 86-91.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 551.513.1:551.551.8+556.55

**Vladimir Voloshyn,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,  
Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [voloshin.vg@ua.fm](mailto:voloshin.vg@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-6607-0755>;

**Sergiy Stepanenko,**

Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Department of Meteorology and Climatology,  
Director of Odessa State Environmental University,  
e-mail: [rector@odeku.edu.ua](mailto:rector@odeku.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-6343-3968>;

**Zhannetta Shakirzanova,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Land Hydrology,  
Odessa State Environmental University,  
e-mail: [jannetodessa@gmail.com](mailto:jannetodessa@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>;

**Viktoriya Kuryshyna,**

PhD (Geography), Senior Lecturer, Department of Meteorology and Climatology,  
Odessa State Environmental University,  
e-mail: [kuryshyna.88@gmail.com](mailto:kuryshyna.88@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1936-5790>

## APPLICATION OF THE SURFACE LAYER ENERGY BALANCE MODEL FOR CALCULATING OF THE EVAPORATION FROM WATER OBJECTS

**Formulation of the problem.** When solving hydrological problems associated with the water balance of water bodies and the possibility of economic use of their water resources, an important problem is the accurate determination of evaporation from the water surface, which is the main component of water losses.

**Review of previous publications and studies.** Currently, many indirect and empirical methods for calculating evaporation from the surface of soil, water and vegetation, developed by domestic and foreign scientists: M.I. Budyko, V.S. Mezentsev, A.R. Konstantinov, N.N. Ivanov, Penman-Monteith and others, are used. Most empirical methods do not have universal applicability, since, in most cases, they cannot take into account the features of various underlying surfaces and hydrometeorological conditions that affect evaporation processes.

The only acceptable methods for estimating actual or potential evaporation can only be parametric models based on a numerical solution of the surface heat balance equation. One of such models is the atmospheric surface layer model – model SLEB, created at Odessa State Ecological Environmental University.

**Purpose.** The purpose of this study is to obtain quantitative estimates of changes with evaporation of water surfaces with SLEB model and compare them with the measured and model data of analogous methods obtained by other authors (Ivanova, Penman), for example, a freshwater lake Yalpuh.

**Methods.** For research, a parametric energy balance model of the atmospheric surface layer SLEB, which is used standard meteorological information, was used. The main advantage of this model is the high accuracy of determining the heat expenditure for evaporation in the calculation of mass-heat transfer between the underlying surface and the atmosphere at the micro- and mesoscales. The SLEB model is applicable for all types of underlying surfaces characteristic of the territory of Ukraine.

**Results.** The value of evaporation from unit area of the water surface of Lake Yalpuh calculating by model SLEB was obtained for the first time taking into account the development of wave formation on the

surface of the lake, which changes the hydrodynamic properties of the water surface and the aerodynamics of the air flow.

Accounting for the effect of wind waves on the vast lake surface allowed us to obtain results almost equal to the measured evaporation from the pool surface.

The results showed that the calculated values of evaporation from the water surface by the methods of Penman and Ivanov overestimate the amount of evaporated moisture compared with the values measured and calculated by the SLEB model.

**Conclusions.** Application of the SLEB model allows to increase the quantitative estimation accuracy of the water balance main component – water losses due to evaporation from the water bodies water surface, which, in turn, can increase the water resources management efficiency of natural water bodies for purpose of their rational use for drinking water supply and land irrigation.

**Keywords:** parametric models, energy balance model, the interaction of the atmosphere and surface, the surface heat balance equation, wave formation, water surface evaporation, potential evaporation.

### References

1. Budyko M.I. (1956). *Heat surface balance*, 256.
2. Mezentshev V.S. (1962). *To the method of calculating the the total evaporation and soil moisture characteristics for an intra-annual period. Proceedings of the Omsk Agricultural Institute, XXVII*, 35-54.
3. Ivanov N.N. (1954). *Obout of the determination of the evaporation values. Proceedings of the Russian Geographical Society*, 86 (2).
4. Beven Keith. (1979). *A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates. Journal of Hydrology*, 44 (3-4), 169-190. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90130-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90130-6).
5. Monteith J.L., Penman H.L. (1965). *Evaporation and environment. Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19, 205-224.
6. Budagovskij A.I. (1969). *Evaporation of soil moisture. Moscow: Nauka*, 241.
7. Konstantinov A.R. (1968). *Evaporation in nature. Leningrad: Gidrometeoizdat*, 582.
8. Pushistov P.Yu., Shlychkov V.A. (1992). *Conclusion of balance relations for the mesoscale climate model of heat and moisture exchange in the atmosphere - hydrosphere - vegetation - soil system. Proceedings of SibNIGMI*, 100, 129-146.
9. Postnikov A.N. (2009). *Methods for calculating soil evaporation in various natural zones. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*, 10, 21-31.
10. Priestly C.H.B. and Taylor R.J. (1972). *On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-scale Parameters. Monthly Weather Bev*, 1, 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2).
11. Brutsaert W. (1982). *Evaporation in to the Atmosphere (Theory, History and Applications)*. D. Reidel Publishing Co., Dordrech, Boston, London, 299.
12. XU C.-Y and V.P. SINGH. (2002). *Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland. Water Resources Management*, 16, 197-219.
13. Jensen M.E. and Haise H.R. (1963). *Estimation of Evapotranspiration from Solar Radiation. Journal of Irrigation and Drainage Division, Proc. Amer. Soc. Civil Eng*, 89, 1541.
14. Hargreaves G.H. and Samni Z.A. (1982). *Estimation of Potential Evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 108, 223-230.
15. Berry J.A., Baker I., T. Randall, D.A. Sellers. (2012). *Soils, plant growth and crop production. P. J. The Soil-Plant-Atmosphere System. Past and Present – Vol. 1. (Soil-Plant-Atmosphere Dynamics)*.
16. Chen F., Pielke R., Sr. K. Mitchell. (2001). *Development and application of land-surface models for mesoscale atmospheric models. American Geophysical Union*, 107-135.
17. Xiu A., Pleim J.E. (2001). *Development of a land surface model. Part I: Application in a mesoscale meteorological model. J. Appl. Meteorol*, 40 (2), 192-209. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0192:DOALSM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0192:DOALSM>2.0.CO;2).
18. Voloshin V.G. (2013). *Dynamic model of atmospheric pollution with a meteorological preprocessor. Odessa: TES*, 285.
19. Stepanenko S.N., Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu. (2011). *The surface layer energy balance model. Ukrainian hydrometeorological journal*, 9, 38-59.
20. Rauner Yu.L. (1972). *Heat balance of vegetation. Leningrad: Gidrometeoizdat*, 210.
21. Voloshin V.G. (2002). *Method for calculating turbulent flows and surface temperature based on meteorological observations. Meteorology, climatology and hydrology*, 46, 83-89.
22. Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu. (2016). *Dissipation functions of turbulent energy in the atmospheric surface layer. Ukrainian hydrometeorological journal*, 15, 2-8. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.09>.
23. Stepanenko S.N., Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu., Golovatyuk N.D. (2012). *Method for calculating the surface temperature by standard meteorological observations. Ukrainian hydrometeorological journal*, 11, 18-29.
24. Gippius F.N., Arkhipkin V.S., Frolov A.V. (2016). *Seasonal course evaporation from Caspian surface taking into account the influence of waves and sea depth. Moscow University Bulletin. Series 5. geography*, 5, 86-91.

УДК 911.3:27-523:332.1

**Григорій Іванович Денисик,**

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Коцюбинського,  
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна,  
e-mail: [grygden@ukr.net](mailto:grygden@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Володимир Миколайович Воловик,**

д. геогр. н., професор кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Коцюбинського,  
e-mail: [wolowyk@gmail.com](mailto:wolowyk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8663-0342>;

**Юрій Васильович Яценюк,**

д. геогр. н., професор кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Коцюбинського,  
e-mail: [yatsentuky@gmail.com](mailto:yatsentuky@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2906-4828>;

**Алла Григорівна Кізюн,**

к. геогр. н., доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи Вінницького торговельно-економічного інституту Київського національного торговельно-економічного університету,  
вул. Соборна, 87, м. Вінниця, 21100, Україна,  
e-mail: [akizyun@gmail.com](mailto:akizyun@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2838-9428>

## МОДЕЛІ САКРАЛЬНОГО ПРОСТОРУ

*Праця присвячена моделям сакрального простору та їх географічним аспектам. Аналіз сакрального простору досліджено у значній кількості праць українських та зарубіжних географів, теологів, філософів. Більшість з них не завжди дають його визначення, не завжди зазначають відмінність між простором та його складовими: сакральним місцем, сакральним ландшафтом, релігійним простором, культовими спорудами. У згаданих дослідженнях мало уваги приділено типологізації та вивченню структури сакрального простору, що зумовлює необхідність аналізу та виділення відповідних моделей. Авторами запропоновано моделі сакрального простору на основі природничого, феноменологічного та часового підходу. Природнича модель створена на протиставленні «сакрального» і «профанного» у складі «гетеротопії» та включає антропогенні, натурально-антропогенні, натуральні об'єкти та ландшафти, де формується вертикальна біполярна система, віссю якої є «ієрофанія». Феноменологічна модель сформована за принципом відчуття та контакту у людини зі «святеним». У структурі моделі запропоновано продовження осі ієрофанії вище та нижче «гетеротопічної» площини з виділенням лімінальної частини сакрального простору. Для есхатологічної моделі взято за природничу основу теорію катастрофізму, яка передбачає, що різкі та глобальні зміни навколишнього середовища зумовлені стрибкоподібними процесами на поверхні Землі (потоп, виверження вулканів, землетрус, епідемія, імпактна подія, геомагнітна інверсія, спалах наднової, вузько спрямований джет гамма-сплеску). Аналогічний підхід використовується у теології, з есхатологічною теорією про кінець світу, застосовуючи циклічну та лінійну концепцію розвитку сакрального простору. Розвиток його структури відбувається стрибкоподібно, з частковою або повною деструкцією ландшафтної сфери, збільшенням амплітуди коливань природних процесів та елімінацією біотичної складової. Застосування запропонованих моделей сакрального простору поглибить зв'язки у міждисциплінарних напрямках географії, теології, філософії, культурології.*

*Ключові слова:* модель сакрального простору, ієрофанія, ієротопія, гетеротопія, лімінальний, сакральний ландшафт.

**Г. І. Денисик, В. Н. Воловик, Ю. В. Яценюк, А. Г. Кізюн. МОДЕЛІ САКРАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА.** *Работа посвящена моделям сакрального пространства и их географическим аспектам. Анализ сакрального пространства исследован в значительном количестве работ украинских и зарубежных географов, теологов, философов. Большинство из них не всегда дают его определения, не всегда отмечают различие между пространством и его составляющими: сакральным местом, сакральным ландшафтом, религиозным пространством, культовыми сооружениями. В упомянутых исследованиях мало внимания уделено типологизации и изучению структуры сакрального пространства, что приводит к необходимости анализа и выделения соответствующих моделей. Авторами предложено модели сакрального пространства на основе естественного, феноменологического и временного подхода. Естественная модель создана на противопоставлении «сакрального» и «профанного» в составе «гетеротопии» и включает антропогенные, натурально-антропогенные, натуральные объекты и ландшафты, где формируется вертикальная биполярная система, осью которой является «иерофаня». Феноменологическая модель сформирована по принципу ощущения и контакта у человека со «святенным». В структуре модели предложено продолжение оси иерофаньи выше и ниже «гетеротопической» плоскости с выделением лиминальной части сакрального пространства. Для эсхатологической модели за основу взято теорию катастрофизма, которая предусматривает, что резкие и глобальные изменения окружающей среды обусловлены скачкообразными процессами на поверхности Земли (потоп, извержение вулканов, землетрясения, эпидемия, импактные события, геомагнитная инверсия, вспышка сверхновой, узко направленный джет гамма всплеска). Аналогичный подход используется в теологии, с эсхатологической теорией о конце света, используя циклическую и линейную концепцию развития сакрального пространства. Развитие его структуры происходит скачкообразно, с частичной или полной деструкцией ландшафтнoй сфeры, увеличением амплитуды колебаний природных процессов и элиминацией биотической составляющей. Применение предложенных моделей сакрального пространства углубит связи в междисциплинарных направлениях географии, теологии, философии, культурологии.*

*Ключевые слова:* модель сакрального пространства, иерофаня, иеротопия, гетеротопия, лиминальный, сакральнoй ландшафт.

**Вступ.** Простір та місце – поняття полісемі- чні та полемічні, вони мають певні особливості,

що відрізняють їх один від одного [24, 29]. Вони взаємозалежні, але не взаємозамінні, і відмінності між ними пояснюють, як ми одночасно сприймаємо, мислимо та проектуємо численні простори, у тому числі сакральні. У процесі адаптації етносу до ландшафту та відповідного типу природокористування формуються місцеві релігії, які супроводжуються появою сакрального простору, де «...етнічна територія дискретна, сакральна» [17, с. 67]. З'являється тріада «релігія – етнос – простір», яка позначає, що «...як релігія створює культуру, так і культура – етнологічний тип, а етнологічний тип вибирає або знаходить «свою» територію і по-своєму її перетворює» [16, с. 128].

Релігійні течії пов'язують сакральний простір з життям та діяльністю їхніх засновників і зазначають, що ці простори представляють собою центр Всесвіту [36, с. 9]. Структура сакрального простору зумовлена гетеротопією сакральних (священних) місць та ландшафтів у хори́чній структурі, співвідношенням ієротопії та ієрофанії – у топі́чній структурі. Такий підхід дозволяє розглядати сакральний простір як відповідну модель.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналіз сакрального простору здійснено у значній кількості праць зарубіжних та українських авторів. Більшість з них не завжди дають його дефініцію, й не бачать різниці між простором та його складовими: сакральним місцем, сакральним ландшафтом, релігійним простором тощо. Зокрема, Р. Джексон, Р. Хенрі пропонують визначення сакрального простору, «як тієї частини земної поверхні, яка визнана окремими особами чи групами, що гідна відданості, вірності або поваги. Простір різко виокремлюється з несвященного або профанного світу навколо нього. Сакральний простір не існує природно, але визначається святістю, оскільки людина визначає, обмежує та характеризує її через свою культуру, досвід та мету» [27, с. 94]. Дж. Кемпбелл проаналізував поняття сакрального простору, зазначивши, що: «це будь-який простір, який відрізняється від звичайного контексту життя. У світовому контексті він стосується пар протилежностей: причини та наслідку, наживи та втрати тощо. Сакральний простір не має функції для заробітку на життя або репутації» [за 34, с. 3]. J. N. Kilde виділила «релігійний» простір, де зберігається релігійний ритуал; він сприяє значенню ритуальних практик, формі та змісту релігійних систем; у ньому – три типи енергії [28]. Б. Ц. Гомбоев запропонував критерії сакрального простору: географічні, архітектурні, етнографічні, езотеричні, що призвело до відсутності цілісності класифікації [7]. Є підхід, який визначає

зв'язок значних етнокультурних особливостей простору та географічних умов як область дослідження сакральної географії. Місце такого поєднання у межах сакрального простору, представленого «логосами» (світлий, темний, чорний), що дозволяє виділити «етноцентрими» та їх підмножини [10] і майже співпадатиме із поняттям гетеротопії та частково – із запропонованою феноменологічною моделлю. Г. І. Денисиком виділено та проаналізовано групи сакрального простору: релігійні, природні, історичні [9]. В. М. Воловиком запропоновано дефініцію та модель сакрального ландшафту, розроблено класифікацію сакральних ландшафтів; виділено і проаналізовано новий клас антропогенних ландшафтів – тафальних [3]. У складі сакрального простору проаналізовано взаємодію географічного, культурного і сакрального ландшафтів, яку показано як системну модель, що складається з природних та геокультурних підсистем, а сакральний ландшафт є інтеграційною структурою для досліджуваного простору [12]. У працях останнього десятиліття ХХІ сторіччя уточнено поняття сакрального простору як специфічної територіальної структури, що характеризується зосередженням природних або створених людиною об'єктів з особливими духовними властивостями, які використовуються населенням [1]; запропоновано систему класифікації сакральних ландшафтів як частини сакрального простору, які мають достатньо чіткі межі [31].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У попередніх дослідженнях сакрального простору мало уваги приділено їх типологізації та вивченню структури, що зумовлює необхідність виділення та аналізу відповідних моделей. Побудова моделей сакрального простору у географії зумовлена переважно природничим, феноменологічним та часовим підходами. Методика їх дослідження включає: а) звичну структуру географічного простору та формуючих його натуральних, антропогенних та натурально-антропогенних ландшафтів [9]; б) перцепційно-когнітивне трактування сакрального простору, що суттєво різниться від попереднього варіанту; в) есхатологічне сприйняття процесів у ландшафтній сфері.

Також, для аналізу моделей сакрального простору можливе застосування: а) ландшафтознавчого (унікальні властивості сакральних ландшафтів та місць); б) історико-ландшафтного (сакральний простір у різних часових зрізах); в) етнічно-екологічного (процеси сакралізації – десакралізації); г) психологічного (образи сакрального і профанного ландшафтів); д) еніологічного (енерго-інформаційні структури сакрального простору) підходів [18].

**Мета і завдання дослідження.** Мета – створення моделей сакрального простору. Завдання – проаналізувати структуру та генезис сакрального простору, відповідно до запропонованих моделей.

**Результати досліджень.** Розуміння «сакрального» в різних мовах (іранській, латині, грецькій) має двоїсте розуміння: позитивне – «освячене присутністю божества», негативне – «те, зіткнення з чим для людини заборонено» [2, с. 343]. Усвідомлення сакрального є однією з основ людського буття, яке визначає вірування і релігію. Моделі сакрального простору засновані на відповідній терміносистемі [4].

«Сакральний» (лат. «sacrum» – священна річ) – пов'язаний з системою знань про священні об'єкти, розташованих на земній поверхні. Близьке до лексеми «сакральний» – латинське слово «sanctus», яке означає «оточений огорожею» (murus sanctus). Таке трактування лексеми підкреслює центрально-периферійну структуру «сакрального», де впорядковане і моновалентне сакральне – «святе», оточує стихійне і амбівалентне (небезпечне сакральне), є захистом від чужого (хаотичного) сакрального. Саме в латинській мові відчутна різниця між сакральним і профанним, однак і в повному обсязі проявляється протилежне розуміння «священного» (sacer): поклоніння богам і величчя, прокляте, заборонене. «Sacer» має таємниче значення, а «sanctus» – стан, який з'являється із заборон, встановлених людьми [2, с. 349]. Yi Fu Tuan зазначив, що справжнє значення «сакрального» виходить за межі стереотипних образів храмів і святинь, оскільки «на рівні досвіду священні явища є тими, які виділяються зі звичайної та переривчастої рутини» [37, с. 84]. Автор підкреслює якості: відокремленість, інше світобачення, упорядкованість і цілісність у означенні того, що є «сакральним» [32, с. 250].

«Профанний» – термін, що означає простір, який був «перед храмовим місцем». Спочатку «profanare» означало «надати» пропозицію «перед храмом», в якому була здійснено пожертву. Sacer та profanus пов'язані з конкретними, визначеними місцями: сакральне місце згадується як священне місце, а довкілля доступне для профанації. Це має сенс там, де церква розташована поруч з ратушею, синагога поблизу ринкової площі тощо [33, с. 7964].

Термін «ієротопія» (грец. ἱερός – священний, τόπος – місце, простір) запропонований А. М. Лідовим, означає формування сакральних просторів. Виходячи з розуміння ієротопії, – сакральні ландшафти створені як результат усвідомленого відтворення первинного сакрального простору, визначеного Богом в процесі ієрофа-

нії [13].

«Ієрофанію» [22] аналізують як вертикальну структуру сакрального простору. Однак це не звичайний набір вертикальних структур, а набір сакральних категорій, де: «...усілякий священний простір пропонує будь-яку ієрофанію, певне вторгнення священного, у результаті чого з оточуючого космічного простору виділяється будь-яка територія, якій надаються якісно відмінні риси» [13, с. 9]. Промаркуємо ієротопію як сакральний простір, в якому відбувається формування сакральних ландшафтів та місць під впливом етнокультури. У грецькій мові «священному» відповідає «ієрос» (грец. – ἱερός, hieros), яке не збігається з розумінням латинського sacer. Сенс латинського «священного» в протиставленні «профанному», що займає відповідний простір.

Для означення горизонтальної складової сакрального простору, що вміщує сакральні ландшафти і місця застосовуємо поняття «гетеротопії». М. Фуко дискутує про цей термін, який став центральним в таких галузях як географія, архітектура та культурологія [26]. Отже, гетеротопія – це місце, пов'язане з іншими частинами, місцями та просторами суспільства, але так чи інакше витісняє ці частини [25, с. 30].

«Культовий, культ» (від лат. cultus – поклоніння, шанування Бога, богів, культових споруд) навіть в корені слова має безпосередній зв'язок з поняттям «етнокультури». В англійській мові вперше вжито в 1617 році у значенні «поклоніння», з 1829 року – як «відданість людині або речі» [23]. Але поняття «сакрального» ієрархічно вище «культового», що зумовлено ширшим «діапазоном» його застосування. Ще одне трактування «культу» пояснюється як «містичне шанування когось або чогось» [15, с. 310], що дозволяє провести етимологічні «паралелі» між «сакральним» і «культовим» ландшафтом. Культ втілюється в ритуалі і церемонії, представлені у відповідних етнокультурних ландшафтах: сакральних, тафальних [3].

«Сакральний простір» розглядають у вузькому (релігійний простір) і широкому (власне сакральному) розумінні, що дозволяє створити його моделі.

**Моделі сакрального простору.** Для формування моделей сакрального простору визначимося з особливостями простору та місця. Зазначимо, що їхні концепти можуть бути досить антагоністичними (рис. 1), що у свою чергу накладатиме відбиток на моделі дослідження. У сакральній географії найчастіше використовують моделі рисунку 1г [3, 8], варіанти взаємозамінності (рис. 1д) також є [1], але така модель використовується не часто. Зазначений підхід дозволяє створити моделі сакрального простору з елемен-

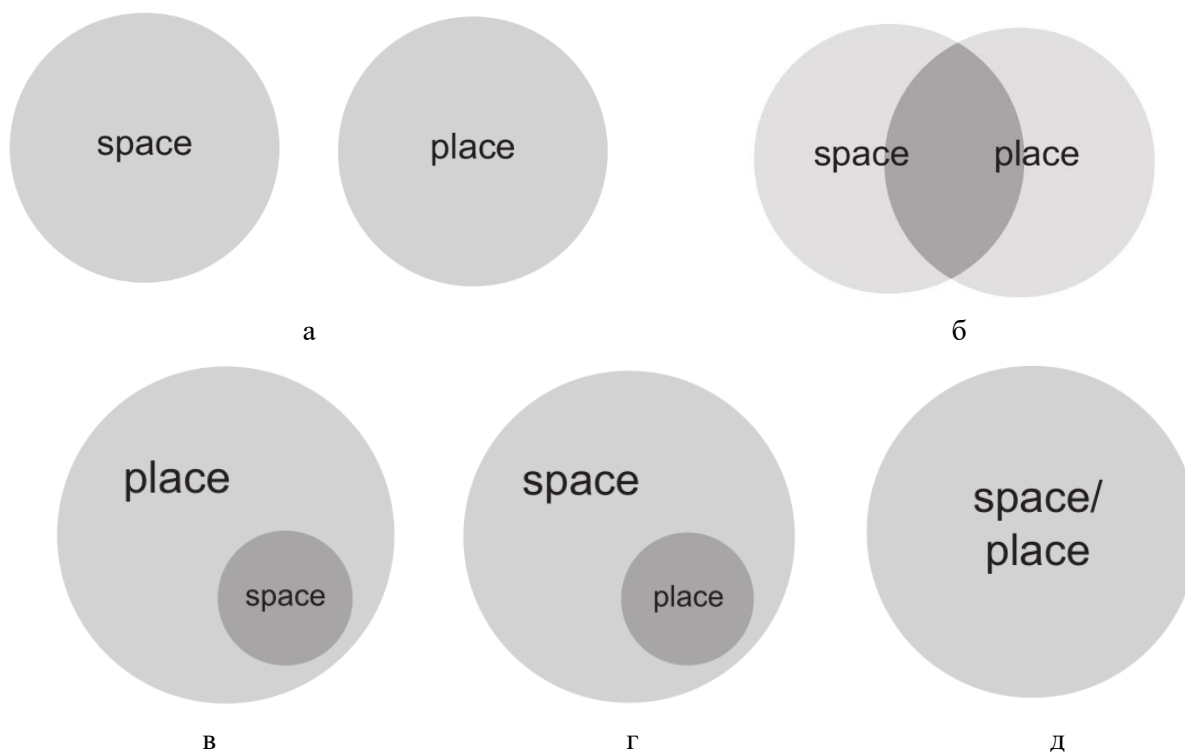


Рис. 1. Концептуальні моделі «простір-місце» [29, с. 13-14]:

а – сепарація простору і місця; б – перекриття простору і місця; в – місце, що міститься у просторі; г – простір, який розташований у місці; д – рівнозначний простір / місце

тами його наповнення: природничу та феноменологічну; з врахуванням часового аспекту – есхатологічну.

*Природнича модель* побудована на протиставленні «сакрального» і «профанного» у розумінні «гетеротопії» як територіальної складової. Охоплює як антропогенні, натурально-антропогенні, так і натуральні (природні) об'єкти та ландшафти [3, 9, 31]. Категорії «сакрального» та «профанного» формують *вертикальну біполярну систему*, віссю якої є «ієрофанія». Потужність вертикальної структури у природничій моделі варіюється від кількох метрів (натуральні, антропогенні об'єкти) до кількох кілометрів (натуральні об'єкти – гори, підземні галереї, печери). Сакральний простір входить до складу ландшафтної сфери.

Природнича модель має сакральні аспекти як з позицій об'єкту, так і суб'єкту. Суб'єктивне сприйняття розділяє простір на «профанне» (однорідне і нейтральне) і «сакральне», яке з позиції віруючого – неоднорідне, «...в ньому багато розривів, розломів; одні частини простору якісно відрізняються від інших» [21, с. 261].

Розуміння людиною цих диз'юнктивних структур сакрального простору є ієрофанія (переживання), що дозволяє виділяти особистий простір з диференціацією на сакральне ядро (культові / релігійні ландшафти, сакральні ландшафти та місця) і профанну периферію. У гетеротопії:

- до антропогенних «ядер» відносять релігійні (культові) об'єкти та ландшафти: капища, городища, кургани, церкви, костели, синагоги, монастирі, кладовища, цвинтарі, катакомби, лабіринти тощо;
- до природних: частину політеїстичного підкласу язичницької і неоязичницької групи варіантів класу сакральних ландшафтів [3] і представлених водними джерелами, священними галями, окремими деревами, які використовуються для ритуальних потреб;
- місця сили, пов'язані з геоактивними «сальоберогенними» структурами (гори Брокен, Олімп, Кайлас, Еверест, Говерла, Шаста, Улуру, Фудзіяма; озера Мертве, Байкал, Поянху; долина Смерті, плато Наска, кратер Дарваза, море Диявола, острови Сейбл, Пасхи).

Типовим прикладом сакрального ядра є храм або стовп, які підкреслюють наявність вертикальної осі, що з'єднує профанний простір з іншими ієрархічно співвіднесеними частинами сакрального простору. В антропогенному ландшафтознавстві класичним прикладом є етнокультурні ландшафти містечок XVI – початку XX століття [5], де окреслюється гетеротопічна структура сакрального простору, яка складається з «сакрального» ядра і «профанної» периферії (рис. 2) і є складовою каркасних ландшафтів [9].

Для кожного етносу, який мешкає в етнокультурному ландшафті, сакральними ядрами бу-



дуть різні місця чи об'єкти. Зокрема, іудейський сакральний ландшафт (синагога, мікве, єврейське кладовище) буде профанним для українського або польського етносу. В такому випадку, поліе-

тнічний сакральний ландшафт буде мати багатшарову структуру, де ядра будуть накладатися частково або повністю, що підпадає під означення «гетеротопії». Така модель відповідає ідеї са-

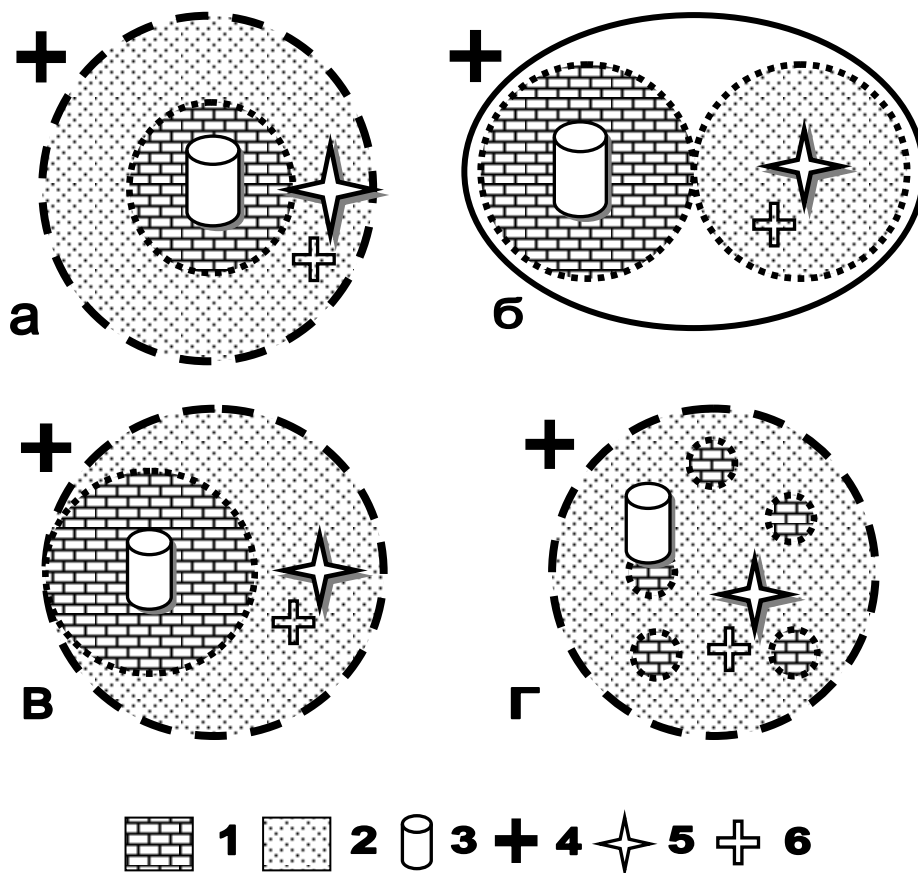


Рис. 2. Гетеротопія сакрального простору містечок Поділля.

Підтипи: а) кільцевий; б) біполярний; в) кварталний; г) дисперсний; 1 – єврейські міські квартали, 2 – християнські квартали; культові споруди та ландшафти: 3 – синагога, 4 – єврейське кладовище, 5 – костел / церква / кірхен, 6 – християнське кладовище / цвинтар

кральної «центропериферії», де у ландшафті проживають одновірці, тому будь-який ландшафтний комплекс може бути сакральним як «...єдина священна земля однієї пастви» [19, с. 64]. Ідея «центру» у сакральному просторі є в усіх давніх культурах: «Центр Світу», «Свята Земля», «Світове яйце», «Світове дерево», «Janua Coeli»; є відправною точкою, першопричиною та неподільною, відображається у релігійних символах [6]. Частина поглядів про сакральний «центр» пов'язана з осьовими вертикальними структурами (культові споруди) та перетинаються з феноменологічною моделлю сакрального простору.

Концепції «сакрального» та «профанного» мають узагальнені риси з сакральним ландшафтом: сакральне завжди представляє світогляд, який має центр (ядро) сакрального ландшафту. Для монотеїстичних релігій формується модель сакрального простору: тріада (вершина – священне (Бог), середня частина – сакральне (проє-

кція священного на профанне), периферія – профанне [3]. При такому підході під сакральним ландшафтом розуміють частину етнокультурного ландшафту, яку свідомо виділяють і маркують сакральними (священими) місцями, визначаючи традиційний світогляд етносів.

У давніх слов'ян селитебний ландшафт був частиною сакрального простору. Місто, з процесом освоєння нових територій, дозволяє виділити «своє» і «чуже» і перетворюється у протиставлення «сакральне / людське / правильне» і «несакральне / профанне / неправильне». Зазвичай, не весь селитебний ландшафт був сакральним, а тільки укріплена центральна частина виконувала таку роль. Сакральним фронтиром були оборонні стіни, які створювали «магічне коло», всередині якого споруджували сакральні об'єкти.

Феноменологічна модель розроблена на основі формування у людини відчуття та контакту з «божественним» [8, с. 115], для формування якої переважатимуть перцепційно-когнітивні ін-

терпретації простору. Врахувавши, що до сакральних місць, окрім сакральних ландшафтів, віднесено і тафальні, пропонуємо структуру феноменологічної моделі, яка включатиме продовження осі ієрофанії вище та нижче «гетеротопічної» площини (рис. 3), суб'єктивний (лімінальний) простір, відсутній у природничій моделі.

Застосування «лімінальної» частини сакрального простору дозволяє розширити межі сприйняття за рахунок «місця поза» простором і часом, до якого у якості прикладу відносять Чистилище, Бардо, Лімб тощо [20].

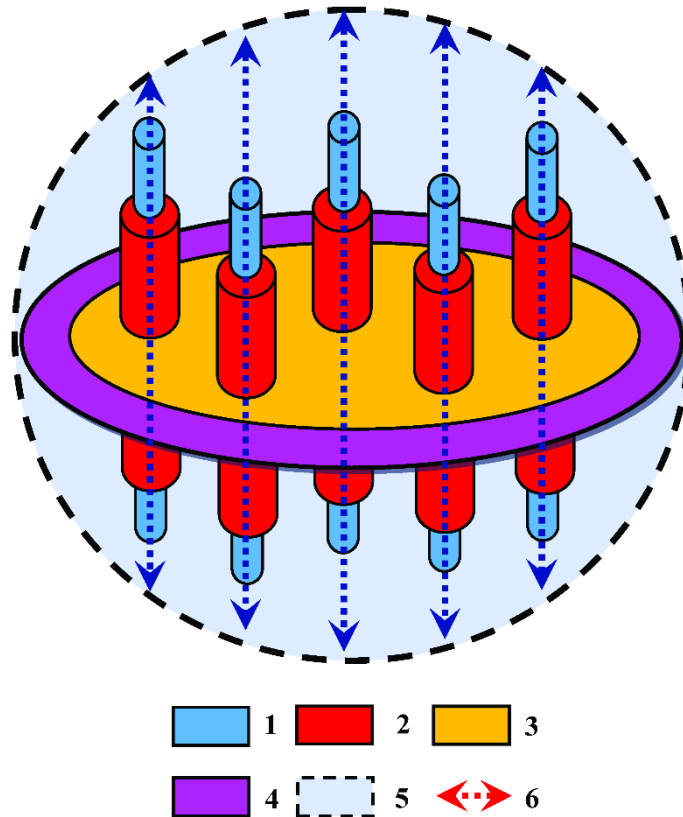


Рис. 3. Феноменологічна модель сакрального простору: 1 – священне; 2 – сакральне; 3 – профанне; 4 – лімінальна складова; 5 – межі сакрального простору; 6 – напрям ієрофанії

Зовнішні межі феноменологічної моделі можуть варіюватися залежно від розуміння «божественного» від звичного (природнича модель) аж до рівності «Всесвіт (Природа) = Бог» (у Кабалі).

Сакральний простір для більшості релігій означає реальні місця на земній поверхні, що вкладається у поняття природничої моделі. Однак, як приклад, євреї сакральний простір не обов'язково визначають територіально. Зокрема, Тору розглядають як рухоме майно, що стало символічною заміною втрати реальної території [32, с. 250]. Таким чином, іудейський народ упродовж тисяч років вигнання зміг існувати як визначена ідентичність, «коли Ізраїль вийшов на заслання, Шехіна (душа Бога) супроводжувала їх так само, ніби їх не повністю покинув Бог... У супроводі народу Ізраїлю на заслання, Шехіна-Тора – обіцянка можливого повернення, коли земля і люди, Тора та Бог об'єднуються у власне місце проживання» [30, с. 21].

Щоб зрозуміти характер таких місць, Дж. З. Сміт запропонував метафору для сакрального простору – «фокусуєчу лінзу» [35], яка концент-

рує увагу на формах, об'єктах і діях у просторі та виявляє носіїв релігійного толку. Ці символи описують основні складові реальності: як релігійна спільнота сприймає їх, визначає життя відповідно до цього підходу і забезпечує доступ між людським світом і божественними реаліями.

У феноменологічній моделі вертикальна структура представлена верхнім світом (Рай, Едем, Джаннат, Сукхаваті), земною поверхнею (гетеротопія із сакральними місцями та ландшафтами) та підземним світом (Пекло, Шеол, Джаганнам, Нарака) [35, с. 7983]. А. Юбер і М. Мосс запропонували концентричну схему для гетеротопії, де сакральне місце (з підвищеною концентрацією релігійності) відокремлене ритуальним колом від профанного простору [11]. Автори зазначили, що сакральне ядро існує тимчасово, тільки для здійснення релігійних ритуалів. Ускладнення буде відбуватися з виділенням не тільки відповідних ландшафтних комплексів, а й сакральних місць, які формуватимуть структуру гетеротопії у сакральному просторі та наявністю лімінальної частини простору, який формується

через когнітивне сприйняття.

*Есхатологічна модель*, за природничу основу якої взято теорію катастрофізму. Остання передбачає, що різкі та глобальні зміни довкілля зумовлені стрибкоподібними природними процесами (потоп, виверження вулканів, землетрус, епідемія, імпактна подія, геомагнітна інверсія, спалах наднової, вузько спрямований джет гамма-сплеску тощо).

У релігійних джерелах аналогічні процеси проаналізовані в есхатології (від грец. *eschatos* – вершина, безодня) – вченні про кінець світу та

часу (Апокаліпсис, Рагнарок, Велика Кальпа). Переважаючими є циклічні та лінійні концепції розвитку сакрального простору [14]. Циклічний варіант застосовано у пропонованій моделі (рис. 4), де розвиток відбувається шляхом проходження природних циклів (зороастризм, «Книга мертвих»); у лінійному варіанті (юдейський та слов'янський варіанти есхатології) – замкнута циклічна структура процесів спрямлена та розірвана (в есхатології – Парусія Ісуса Христа) і має незворотній характер.

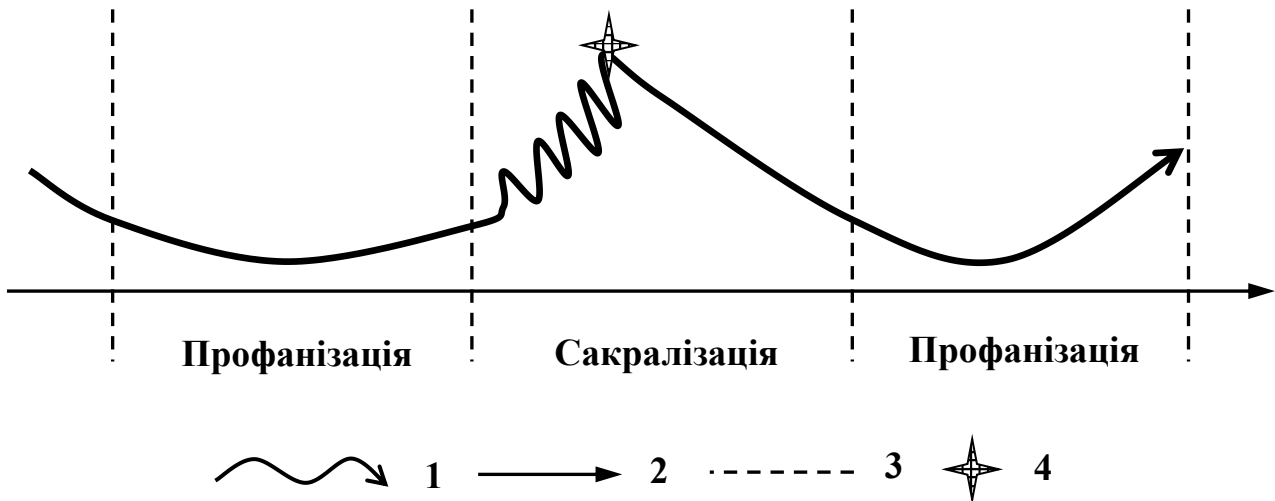


Рис. 4. Есхатологічна модель сакрального простору: 1 – напрям і процеси ентропії; 2 – напрям часу; 3 – межі процесів; 4 – точка сингулярності (апокаліпсис)

Еволюція сакрального простору пов'язана зі спільними, але протилежними за напрямом процесами: а) профанні ландшафти, які сакралізуються; б) сакральні ландшафти, які профанізуються (десакралізуються). Їх еволюція має синусоїдну форму, залежну від ентропії, яка досягає максимуму у точці сингулярності. При її наростанні (природні катастрофи, епідемії тощо) відбувається втрата автохтонним етносом сакральних місць або усього сакрального ландшафту, що призводить до десакралізації і заміною на профанні ландшафти [3]. Есхатологічна модель має певні особливості.

1. Точка сингулярності співпадає з точкою «апокаліпсису». У різних культурах ознаки апокаліпсису подібні, але точка сингулярності пов'язана з часовими осциляціями, хоча відповідатиме максимальній сакралізації простору.

2. Рівень сакралізації наростає, але з його підвищенням, скорочується та зміщується час природних ритмів та циклів, а амплітудні коливання стають значнішими (рис. 4). Це виражається у прояві головних есхатологічних ознак, наприклад, одкровення Іоана Богослова.

3. Після проходження точки сингулярності (нуль-момент [8]) амплітудні коливання природ-

них ритмів сповільнюються та згладжуються. Може формуватися нова ландшафтна сфера, і у подальшому, як її частина – сакральна сфера (природнича модель).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Сакральний простір – це, перш за все, простір, який відрізняється від інших. Як осмислений простір, – сакральний, охоплює місця, створені для: а) релігійних потреб (культові споруди, храми, кладовища); б) трактуються релігійно, такі як гори або річки, а також частини ландшафтної сфери, які можна сприймати фізично (географія Святої землі), так і образно, як внутрішня географія тіла в тантричній йозі.

Дослідницькі аспекти визначають трактування сакрального простору як такого, що об'єднує матеріальне і духовне; певні місця етнокультурного регіону, які мають ознаки взаємодії етносу і священного. У моделі сакрального простору доцільно виділити категорії топічної (ієрофанії) і хоричної (ієротопії) складових; в ієротопії виділити: сакральне і профанне, сакральний і релігійний простір, гетеротопію.

Природнича модель представлена частиною простору ландшафтної сфери і складається з ритуальних і культових об'єктів, які формують ет-

нокультурний регіон і в гетеротопічному розумінні – сакральні ландшафти. Вертикальна складова пов'язана з центропериферичним підходом: сакральний ландшафт → ієротопія → ієрофанія.

Виділення феноменологічної моделі пропонуємо на основі перцепційно-когнітивного сприйняття «священного» людиною, що дозволяє розглядати його з позицій лімінального простору–часу, а відповідно може бути «божественним»: безрегіональним / безпросторовим та виходити за межі хронологічного і просторового сприйняття сакрального.

Есхатологічна модель дозволить розкрити

часові аспекти сакрального простору, еволюція якого підпорядкована «глобальній катастрофі». Зміна структури сакрального простору відбувається стрибкоподібно, з частковою або повною деструкцією ландшафтної сфери та елімінацією біотичної складової.

Запропоновані моделі сакрального простору істотно розширюють існуючий предмет сакральної географії, антропогенного та етнокультурного ландшафтознавства. Їх застосування дозволить поглибити зв'язки у міждисциплінарних напрямках географії, релігієзнавства, філософії, культурології.

### Література

1. Атаман Л. В. Сакральні простори: поняття, характеристика [Текст] / Л. В. Атаман // Географические аспекты устойчивого развития регионов: Материалы II Международной научно-практической конференции (Гомель, 23-24 марта 2017 г.). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – С. 38-41.
2. Бенвенист Э. Словарь индоевропейских социальных терминов [Текст] / Э. Бенвенист. – М.: Прогресс-Универс, 1995. – 456 с.
3. Воловик В. М. Етнокультурні ландшафти: регіональні структури і природокористування [Текст] / В. М. Воловик. – Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2013. – 464 с.
4. Воловик В. Н. Терминсистема сакрального ландшафтоведения [Текст] / В. Н. Воловик // Рухани жаңғыру аясындағы киелі жерлер географиясы және мәдениет: тәжірибе мен практика»: халықар. ғыл.-практ. конф. материалдары (26-27 сәуір 2018 ж.). – Алматы: Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, «Ұлағат» баспасы, 2018. – 296 бет; «Сакральная география и культура в призме духовного обновления: Опыт и практика»: мат.-лы междунар. науч.-практ. конф. (26-27 апреля 2018 г.). – Алматы: Казахский национальный педагогический университет имени Абая, издательство «Ұлағат», 2018. – С. 28-31.
5. Воловик В. М. Етнокультурні ландшафти містечок Поділля [Текст] / В. М. Воловик // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Научный журнал. Серия «География». Спецвыпуск по материалам конференции «Мир современной географии». – 2011. – Том 24 (63). – № 2. Часть 3. – С. 109-114.
6. Генон Р. Символы священной науки [Текст] / Рене Генон. – М.: Беловодье, 2002. – 496 с.
7. Гомбоев Б. Ц. Культурные места Баргузинской долины в контексте этнокультурной истории Байкальского региона: дис. ... канд. ист. наук: спец. 07.00.07 [Текст] / Б. Ц. Гомбоев. Москва, 2004. – 24 с.
8. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія. У 2-х т. [Текст] / М. Д. Гродзинський. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – Т. 2. – 503 с.
9. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство: навчальний посібник. Частина І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство [Текст] / Г. І. Денисик. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2012. – 336 с.
10. Дугин А. Г. Ноомахия: войны ума. Геософия: горизонты и цивилизации [Текст] / А. Г. Дугин. – М.: Академический проект, 2017. – 476 с.
11. Зенкин С. Небожественное сакральное. Теория и художественная практика [Текст] / С. Зенкин. – М.: РГГУ, 2012. – 537 с.
12. Лавринова Н. Н. Модель взаимодействия географического, культурного и сакрального ландшафтов [Текст] / Н. Н. Лавринова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Филологические науки и культурология. № 2(2). – Тамбов, 2015. – С. 44-51.
13. Лидов А. М. Иеротопия. Пространственные иконы и образцы-парадигмы в византийской культуре [Текст] / А. М. Лидов. – М.: Дизайн. Информация. Картография, 2009. – 362 с.
14. Лобье Патрик де. Эсхатология [Текст] / Патрик де Лобье. – М.: ООО «Издательство Астрель»; ООО «Издательство АСТ», 2004. – 158, [2] с. – (Cogito, ergo sum: «Университетская библиотека»).
15. Митрополит Іларіон. Етимологічно-семантичний словник української мови [Текст] / За редакцією Юрія Мулика-Луцика. – Т. 2. Е-Л. – Вінніпег: Накладом Товариства «Волинь», 1982. – 399 с.
16. Основы евразийства [Текст] / Составители: Н. Агамаян, В. Галимова, А. Гуськов, Н. Мелентьева, П. Зарифуллин, М. Хрустов. – М.: Арктогея-Центр, 2002. – 800 с.
17. Природа і етнос [Текст] / За ред. В. С. Крисаченко, М. М. Кисельов, С. А. Мороз. – К.: Наукова думка, 1994. – 208 с.
18. Романчук С. П. Сакральные ландшафты [Текст] / С. П. Романчук // Гуманитарный экологический журнал. – 2002. – Т. 4. – Вып. 1. – С. 112-114.
19. Тютюнник Ю. Г. Ландшафт: етимологія, герменевтика, екзегетика [Текст] / Ю. Г. Тютюнник // Totallogy-XXI (Десятий випуск). Постнекласичні дослідження. – К.: ЦГО НАНУ. – 2003. – С. 54-71.
20. Фусу Л. И. Концепции лиминальности в научном дискурсе как междисциплинарная проблема [Текст] / Л. И.

- Фусу // *Context and Reflection: Philosophy of the World and Human Being*. – 2017 – Vol. 6. – Is. 3A. – С. 240-246.
21. Элиаде М. Избранные сочинения: Миф о вечном возвращении; Образы и символы; Священное и мирское [Текст] / Мирча Элиаде. – М.: Ладомир, 2000. – 488 с.
  22. Элиаде Мирча. Священное и мирское; [пер. с фр., предисл. и коммент. Н. К. Гарбовского] [Текст] / Мирча Элиаде. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 144 с.
  23. Cult (religious practice) [Электронный ресурс] / [https://en.wikipedia.org/wiki/Cult\\_\(religious\\_practice\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cult_(religious_practice))
  24. Duarte F. *Space, Place and Territory: A Critical Review on Spatialities* [Text] / F. Duarte. – New York: Routledge, 2017. – 168 p.
  25. Enstedt D. *The social production of sacred space in urban Oslo* [Text] / Daniel Enstedt // *Stellenbosch Theological Journal*, 2015. – Vol 1. – No 2. – P. 15-41.
  26. Foucault Michel. *Aesthetics, Method and Epistemology (Essential Works of Foucault, 1954-1984. Vol. 2)* [Text] / Michel Foucault. – New York: New Press, 1999. – 528 p.
  27. Jackson R.H. *Perception of sacred space* [Text] / R.H. Jackson, R. Henrie / *Journal of Cultural Geography*. – Volume 3. – 1983. – Issue 2. – P. 94-107.
  28. Kilde J. H. *Sacred power, sacred space: an introduction to Christian architecture and worship* [Text] / Jeanne Halgren Kilde. – New York: Oxford University Press, 2008. – 250 p.
  29. Low Setha M. *Spatializing culture: the ethnography of space and place* [Text] / Setha M. Low. – New York: Routledge, 2016. – 276 p.
  30. Maier E. *Torah as movable territory* [Text] / E. Maier // *Annals of the Association of American Geographers*. – Volume 65. Issue 1. – 1975. – P. 18-23.
  31. Mishchenko O. *Classification scheme of sacred landscapes* [Text] / O. Mishchenko // *European Journal of Geography*. – Volume 9 (4). – 2018. – P. 62-74.
  32. Park Chris C. *Sacred worlds. An introduction to geography and religion* [Text] / Chris C. Park. – London: Routledge, 1994. – 332 p.
  33. *Sacred and the Profane, the* [Text] // *Encyclopedia of Religion, Second Edition*. – Farmington: Thomson Gale, 2005. – Vol. 12. – P. 7964-7978.
  34. *Sacred Places: Public Spaces* [Electronic resource] / <https://www.mcgill.ca/urbandesign/files/urbandesign/SRP-FINAL-Bartle.pdf>
  35. *Sacred Space* [Text] // *Encyclopedia of Religion, Second Edition*. – Farmington: Thomson Gale, 2005. – Vol. 12. – P. 7978-7986.
  36. *Sacred Spaces and Sacred Places by Geoffrey Simmins, PhD* [Electronic resource] / <https://dspace.ucalgary.ca/bitstream/handle/1880/46834/Sacred%20Spaces.pdf;jsessionid=F1D73007D2042A2787FE5A60B0740ADF?sequence=1>
  37. Tuan Y.F. *Sacred space; exploration of an idea* [Text] / Y.F. Tuan // *Dimensions of Human Geography. Essays on Some Familiar and Neglected Themes (University of Chicago Geography Research Papers (Book 186))*. – Chicago: Committee On Geographical Studies, 1978. – P. 84-99.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 911.3:27-523:332.1

**Grygoriy Denysyk,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
Ostrozshkogo street 32, Vinnytsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [grygden@ukr.net](mailto:grygden@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Volodymyr Volovyk,**

Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [wolovyk@gmail.com](mailto:wolovyk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8663-0342>;

**Yuriy Yatsentyuk,**

Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [yatsentyuk@gmail.com](mailto:yatsentyuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2906-4828>;

**Alla Kiziun,**

PhD (Geography), Associate Professor, Vinnytsia Trade and Economics Institute  
Kyiv National Trade and Economics University; Soborna Street 87, Vinnytsia, 21000, Ukraine,  
e-mail: [akizyun@gmail.com](mailto:akizyun@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2838-9428>

**MODELS OF SACRED SPACE**

**The purpose** is to create models of sacral space and the task is to analyze the structure and genesis of

sacral space.

**Research methods.** The creation of sacred space models in geography is predominantly driven by naturalistic, phenomenological and temporal approaches. The methods of their study include: a) habitual structure of geographical space and its forming natural, anthropogenic and natural anthropogenic landscapes; b) perceptual-cognitive interpretation of the sacral space, which is significantly different from the previous version; c) eschatological perception of processes in the landscape.

**Results.** In forming the models of sacral space, the study paid attention to the peculiarities of space and place. The authors noted that their concepts could be quite antagonistic, which would have an impact on the research model. This approach allows creating models of sacral space with elements of its filling: natural and phenomenological; given the time aspect – eschatological. The natural model is built on the juxtaposition of "sacred" and "profane" in the sense of "heterotopia" as a territorial component. Covers both anthropogenic, natural-anthropogenic, and natural objects and landscapes. The categories "sacral" and "profane" form a vertical bipolar system, the axis of which is "hierophany." Heterotopia includes anthropogenic cores – religious (cult) objects and landscapes, and natural ones – part of the polytheistic subclass of the pagan and neo-pagan group of variants of the class of sacral landscapes, as well as places of force associated with geoactive structures. Phenomenological model is developed based on formation in the person of feeling and contact with the "divine", for the formation of which perceptual-cognitive interpretations of space are applied. It is proposed to include a liminal space in the structure of the phenomenological model, which will include the extension of the hierophony axis above and below the "heterotopic" plane. The eschatological model is based on the theory of catastrophism, which assumes that abrupt and global environmental changes are caused by abrupt natural processes (flood, volcanic eruption, earthquake, impact event, geomagnetic inversion). In religious sources, similar processes are analyzed in eschatology, where cyclical and linear concepts of sacral space development are predominant. The eschatological model has certain features: the singular point coincides with the point of the "apocalypse"; the level of sacralization increases, but with its increase, the time of natural rhythms and cycles decreases and shifts, and the amplitude oscillations become larger, which is reflected in the manifestation of the main eschatological features; after passing the singular point, the amplitude oscillations of the natural rhythms are slowed and smoothed; a new landscape sphere is forming.

**Scientific significance.** Research aspects define the interpretation of sacred space as one that combines material and spiritual; certain places in the ethnocultural region that have signs of the interaction between the ethnos and the sacred. In the model of sacral space it is expedient to distinguish the categories of topical (hierophany) and choral (hierotopia) components; to distinguish in hierotopia: sacral and profane, sacred and religious space, heterotopia and liminal component. The natural model is part of the space landscape sphere and consists of ritual and cult objects that form an ethnocultural region and in a heterotopic sense, sacral landscapes. The selection of the phenomenological model allows us to consider the sacral space from the standpoint of liminal space, and accordingly – it can be irregular, spatial and go beyond the chronological and spatial perception of the sacral. The eschatological model will reveal the temporal aspects of sacred space, the evolution of which is subordinated to a "global catastrophe". The change in the structure of the sacral space occurs abruptly, with partial or complete destruction of the landscape sphere and elimination of the biotic component.

**Practical significance.** The proposed models of sacral space significantly expand the existing subject of sacral geography, anthropogenic and ethno-cultural landscape studies. Their application will allow to deepen connections in the interdisciplinary fields of geography, religious studies, philosophy, and cultural studies.

**Keywords:** model of sacred space, hierophany, hierotopia, heterotopy, liminal, sacred landscape.

#### References

1. Ataman, L.V. (2017). *Sacred Spaces: Concepts, Characteristics. Geographical Aspects of Sustainable Development of Regions: Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference (Gomel, March 23-24, 2017) (pp. 38-41). Gomel.*
2. Benvenist, E. (1995) *Dictionary of Indo-European Social Terms. Moscow: Progress-University, 456.*
3. Volovyk, V.M. (2013) *Ethnocultural landscapes: regional structures and nature management. Vinnitsa: LLC "Vinnitsa City Printing House", 464.*
4. Volovik, V.N. (2018). *Terminosystem of sacral landscaping. Sacred Geography and Culture in the Prism of Spiritual Renewal: Experience and Practice: Mat. scientific-practical conf. (April 26-27, 2018) of Kazakh National Pedagogical University named after Abai (pp. 28-31). Almaty.*
5. Volovyk, V.M. (2011). *Ethnocultural landscapes of the towns of Podillya. Uchenye zapiski Tavricheskogo Nacionalnogo Universitet im. V.I. Vernadsky. Scientific journal. Geography Series. Special issue on the materials of the conference "World of Modern Geography", 24 (63), 2, 3, 109-114.*
6. Gennon, R. (2002). *Symbols of Sacred Science. Moscow: Belovodye, 496.*

7. Gomboev, B. Ts. (2004). *The cult places of the Barguzin valley in the context of the ethno-cultural history of the Baikal region: diss. ... cand. ist. sciences*, 24.
8. Grodzinski, M.D. (2005) *Knowledge of the landscape: place and space: a monograph*. In 2 volumes. Kyiv: Publishing and printing center "Kyiv University", 2, 503.
9. Denysyk, G.I. (2012). *Anthropogenic landscape science: a textbook. Part I. Global Anthropogenic Landscape Studies*. Vinnytsia: TD Edelweiss & Co, 336.
10. Dugin, A.G. (2017). *Noomachia: The Wars of the Mind. Geography: Horizons and Civilizations*. Moscow: Academic project, 476.
11. Zenkin, S. (2012). *The Divine Sacred. Theory and Art Practice*. Moscow: RSGU, 537.
12. Lavrinova, N.N. (2015). *Model of interaction of geographical, cultural and sacral landscapes*. *Bulletin of the Tambov University. Series: Philological Sciences and Cultural Studies*, 2(2), 44-51.
13. Lidov, A.M. (2009). *Hierotopia. Spatial icons and paradigm patterns in Byzantine culture*. Moscow: Design. Information. Cartography, 362.
14. Patrick, de Lobie. (2004). *Eschatology*. Moscow: Astrel Publishing House LLC; Publishing house AST, 158.
15. Metropolitan Hilarion. (1982). *Etymological-semantic dictionary of the Ukrainian language. Vol. 2. E-L. Winnipeg: The Volyn Society*, 399.
16. *Fundamentals of Eurasia (2002) / Compiled by: N. Agamalyan, V. Galimova, A. Guskov, N. Melent'eva, P. Zari-fullin, M. Khrustov*. Moscow: Arktogeya-Center; 800.
17. *Nature and Ethnicity. (1994). Ed. V.S. Kryshchenko, M.M. Kiselyov, S.A. Moroz*. Kyiv: Scientific Thought, 208.
18. Romanchuk, S.P. (2002). *Sacred Landscapes*. *Humanitarian Ecological Journal*, 4, 1, 112-114.
19. Tyutyunnik, Yu. G. (2003). *Landscape: etymology, hermeneutics, exegetics*. *Totallogy-XXI (Tenth issue). Post-Classical Studies*. Kyiv: TsGU NASU, 54-71.
20. Fusu, L.I. (2017). *Concepts of liminality in scientific discourse as an interdisciplinary problem*. *Context and Reflection: Philosophy of the World and Human Being*, 6. Is. 3A, 240-246.
21. Eliade, M. (2000). *Selected Works: The Myth of Eternal Return; Images and symbols; Sacred and Secular*. Moscow: Ladomir, 488.
22. Eliade, Mircea. (1994). *Sacred and worldly*. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 144.
23. *Cult (religious practice) / [https://en.wikipedia.org/wiki/Cult\\_\(religious\\_practice\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cult_(religious_practice))*
24. Duarte F. (2017). *Space, Place and Territory: A Critical Review on Spatialities*. New York: Routledge, 168.
25. Enstedt D. (2015). *The social production of sacred space in urban Oslo*. *Stellenbosch Theological Journal*, 1, 2, 15-41.
26. Foucault Michel. (1999). *Aesthetics, Method and Epistemology (Essential Works of Foucault, 1954-1984. Vol. 2)*. New York: New Press, 528.
27. Jackson R.H. & R. Henrie. (1983). *Perception of sacred space*. *Journal of Cultural Geography*, 3, 2, 94-107.
28. Kilde J. H. (2008). *Sacred power, sacred space: an introduction to Christian architecture and worship*. New York: Oxford University Press, 250.
29. Low Setha M. (2016). *Spatializing culture: the ethnography of space and place*. New York: Routledge, 276.
30. Maier E. (1975). *Torah as movable territory*. *Annals of the Association of American Geographers*, 65, 1, 18-23.
31. Mishchenko O. (2018) *Classification scheme of sacred landscapes*. *European Journal of Geography*, 9 (4), 62-74.
32. Park Chris C. (1994). *Sacred worlds. An introduction to geography and religion*. London: Routledge, 332 p.
33. *Sacred and the Profane, the. (2005). Encyclopedia of Religion, Second Edition*. Farmington: Thomson Gale, 12, 7964-7978.
34. *Sacred Places: Public Spaces / <https://www.mcgill.ca/urbandesign/files/urbandesign/SRP-FINAL-Bartle.pdf>*
35. *Sacred Space. (2005). Encyclopedia of Religion, Second Edition*. Farmington: Thomson Gale, 12, 7978-7986.
36. *Sacred Spaces and Sacred Places by Geoffrey Simmins, PhD / <https://dspace.ucalgary.ca/bitstream/handle/1880/46834/Sacred%20Spaces.pdf;jsessionid=F1D73007D2042A2787FE5A60B0740ADF?sequence=1>*
37. Tuan Y.F. (1978). *Sacred space; exploration of an idea*. *Dimensions of Human Geography. Essays on Some Familiar and Neglected Themes (University of Chicago Geography Research Papers (Book 186))*. Chicago: Committee On Geographical Studies, 84-99.

UDC 339.942(477:510)

**Kateryna Oleksandrivna Kravchenko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [kateryna.kravchenko@karazin.ua](mailto:kateryna.kravchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

**Yu Zheng,**

PhD (Physics and Mathematics), Professor,  
School of Electronic and Information, Qingdao University,  
308 Ningxia Rd., Qingdao, Shandong Province, P.R. of China,  
e-mail: [zhengyu@qdu.edu.cn](mailto:zhengyu@qdu.edu.cn), <https://orcid.org/0000-0001-6166-5733>;

**Nataliia Viacheslavivna Dobrovolska,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Tourism and Hotel Business,  
Faculty of Hotel, Restaurant and Tourist Business,  
Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics,  
8 Otakar Yarosh lane, Kharkiv, 61045, Ukraine,  
Department of Human Geography and Regional Studies, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [natalie.dobrovolskaya@gmail.com](mailto:natalie.dobrovolskaya@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5583-2179>;

**Iryna Anatoliivna Scryl,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [skril403@gmail.com](mailto:skril403@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2010-0872>

## UKRAINE–CHINA STRATEGIC PARTNERSHIP: CURRENT SITUATION, PROBLEMS AND PROSPECTS

**К. О. Кравченко, Юн Джин, Н. В. Добровольська, І. А. Скриль. СТРАТЕГІЧНЕ ПАРТНЕРСТВО УКРАЇНИ ТА КИТАЮ: СУЧАСНИЙ СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.** Для України питання стратегічного партнерства з Китаєм, який є світовим лідером торгівлі товарами та інвестиційної діяльності, є вкрай актуальним. Зовнішньоекономічна політика Китаю щодо країн, що розвиваються, спрямована на укладання взаємовигідних угод та інвестиційну підтримку інноваційної діяльності в цих країнах. Ініціатива «Один пояс, один шлях» має на меті формування нової вільної економічної зони торгівлі, до якої у якості транзитної держави має змогу приєднатись і Україна. За прогнозами експертів, відновлення Шовкового шляху з Китаю до Європи дозволить сформувати нову зону вільної торгівлі, яка з часом буде визначати розвиток торговельної галузі в усьому світі.

Такого роду співпраця безумовно є достатньо вигідною для України, адже вона дозволить за рахунок іноземного капіталу модернізувати транспортні шляхи, налагодити більш тісну співпрацю з країнами Європи (як кінцевим споживачем транзитних товарів), розвинути інноваційну інфраструктуру та залучити до державного бюджету кошти за надання послуг транспортування та обслуговування. Проте, участь в ініціативі може нести і значні ризики для економіки нашої держави, адже станом на 2019 р. обсяги імпорту та експорту у взаємовідносинах України та Китаю є неспівставними з домінуванням останнього. Щодо товарної структури, то здебільшого Україна експортує сировину, а імпортує готову продукцію. Організація масштабного транзиту китайських товарів територією України може створити на внутрішньому ринку нашої держави значний профіцит дешевих товарів та поставити питання щодо рентабельності вітчизняного виробництва певних груп товарів. Інтеграція України у новостворену зону вільної торгівлі здебільшого є питанням часу, проте вкрай важливим є ґрунтовний аналіз можливостей, загроз та наслідків даного процесу.

**Ключові слова:** стратегічне партнерство, зовнішньоекономічна співпраця, торгівля, інвестиції, проекти, Шовковий шлях, «Один пояс, один шлях», проблеми та перспективи.

**К. А. Кравченко, Юн Джин, Н. В. Добровольская, И. А. Скриль. СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО УКРАИНЫ И КИТАЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.** Для Украины вопрос стратегического партнерства с Китаем, который является мировым лидером торговли товарами и инвестиционной деятельности, является крайне актуальным. Внешнеэкономическая политика Китая по отношению к развивающимся странам направлена на заключение взаимовыгодных соглашений и инвестиционную поддержку инновационной деятельности в этих странах. Инициатива «Один пояс, один путь» нацелена на формирование новой свободной экономической зоны торговли, к которой в качестве транзитного государства имеет возможность присоединиться и Украина. По прогнозам экспертов, возобновление Шелкового пути из Китая в Европу позволит сформировать новую зону свободной торговли, которая со временем будет определять развитие отрасли торговли во всём мире.

Такого рода сотрудничество безусловно является достаточно выгодным для Украины, ведь оно позволит за счет иностранного капитала модернизировать транспортные пути, наладить более тесное сотрудничество со странами Европы (как конечным потребителем транзитных товаров), развить инновационную инфраструктуру и привлечь в государственный бюджет средства за предоставление услуг транспортировки и обслуживания. Однако, участие в инициативе может иметь и значительные риски для экономики государства, ведь по состоянию на 2019 объемы импорта и экспорта во взаимоотношениях Украины и Китая несопоставимы с доминированием последнего. Относительно товарной структуры, стоит отметить, что в основном Украина экспортирует сырье, а импортирует готовую продукцию. Организация масштабного транзита китайских товаров по территории Украины может создать на внутреннем рынке нашего государства значительный профицит дешевых товаров и поставить вопрос о рентабельности отечественного производства опреде-



*ленных групп товаров. Интеграция Украины в формируемую зону свободной торговли в основном является вопросом времени, однако крайне важно провести детальный анализ возможностей, угроз и последствий данного процесса.*

*Ключевые слова: стратегическое партнерство, внешнеэкономическое сотрудничество, торговля, инвестиции, проекты, Шелковый путь, «Один пояс, один путь», проблемы и перспективы.*

**Statement of the research problem.** Foreign trade cooperation is one of the main forms of foreign economic activity, it is represented by exports and imports of goods and services. This is an effective tool which helps countries to develop their own specialization, increase resource productivity and thus to increase overall production. Not only economic development but also the structure of consumption and the state of the payment balance depend on the country's foreign trade partnership. The current state of Ukraine's economy requires changes and significant investment. Therefore, development of foreign trade cooperation, implementation of radical changes in many sectors of the economy based on the choice of specializations and development priorities is quite relevant. One of the powerful partner countries and prospective inverters for Ukraine is China, which has one of the most progressive economies in the world. One of the priority areas of strategic cooperation between Ukraine and China is to establish cooperation within the "Belt and Road Initiative".

Implementation of this project aims to affect all its direct and indirect participants in the form of the integration effect, as a result it is planned to form a large free-trade area between project participants, which should significantly affect the world economy.

The geopolitical and transport-geographical position of Ukraine largely determines the current state and prospects of its economic development. Currently more than 40 countries (including Ukraine) have signed cooperation agreements with China under the "Belt and Road Initiative". Implementation of this project certainly creates great economic opportunities for Ukraine. However, the initiative is positioned not only as a basis for the modernization of existing transport corridors, but also as a way to expand the impact of Chinese transit, and, as a consequence - formation of a new trade and economic zone. The cooperation also proposes joint political, economic and cultural exchanges at the global level between the participating countries. The advantage of implementing the project in Ukraine is the possibility of using China's economic opportunities and attracting foreign investment in order to build the transport system of our country, purchase new and modernize existing vehicles. Also the positive one is the desire of Chinese partners to invest in innovative projects along the planned transport axes. However, implementation of this project will significantly affect the domestic market of Ukrainian goods, and as a result – the industry and the level of production of

a wide range of products, which are likely to be replaced by cheaper exports due to low cost of many Chinese goods, but perhaps lower quality.

**The purpose of the paper** is to study the state of implementation of the "Belt and Road Initiative" within the strategic partnership between Ukraine and China, as well as to identify threats and prospects for this form of cooperation for economic development of Ukraine.

**Analysis of previous research.** A large number of domestic studies are devoted to the study of Ukrainian-Chinese relations. Such studies are covered somewhat less in foreign literature, which demonstrates the level of interest of the Ukrainian side in a comprehensive study of relations with Chinese partners, search for new prospective areas of cooperation. The research of the last 5 years has paid special attention to the "Belt and Road Initiative", because its successful implementation will lead to fundamental transformations in the world economic system.

H. Okhasha's paper reveals the peculiarities of the implementation of the "Belt and Road Initiative" and its implementation in the context of China's openness policy [28]. In particular, according to the author, an important aspect of developing the initiative is the policy of openness which is not only a mean of obtaining foreign currency and technology, but also a tool to increase China's role in global governance. Given that China is the largest beneficiary of the global trade system, its goal is to form a new, dominant economic world economic zone. Thus, formation of new laws of international policy will be under Chinese jurisdiction.

Yu. Lei et al's research presents a study of the effectiveness of the international program to reduce the risks of natural disasters on the new economic Silk Road in accordance with the "Belt and Road Initiative" in 2016-2020. [30]. The paper considers the impact of natural factors on the functioning of the new Silk Road, because some of them pass through mountainous areas, where there is a high probability of landslides, floods and it is in critical condition. Therefore, it is important to assess the real state of safety of the regions and the quality of the road surface of those areas where the new Silk Road is laid.

In the A. Nordin and M. Weissman's paper the initiative "Belt and Road Initiative" is presented mainly in terms of cooperation in this aspect of two superpowers - China and the United States [24]. The authors highlighted the importance of the new Silk Road for the countries of Central and Eastern Eu-

rope. In particular, they note that the initiative is positioned mostly as a geopolitical strategy, rather than a means of achieving economic benefits at the moment, because Chinese goods are currently quite successfully sold in all regions of the world. However, given the predominant maritime and air trade that is prevailing now, the possibility of using high-speed railway transport is a good prospect for transit countries.

Wieyer's study examines the transformation of China's foreign policy from the theory of the "third world" countries to international investment [33]. The author considers two opposite points of view. The first argues that China's international investment is largely focused on access to local resources. According to the second point of view, China's international policy is focused on patronage, which does not require anything in return. Regarding the "Belt and Road Initiative", the author sees it as a strategy to reach the global level, aimed at the internationalization of private corporations, transformation of international cooperation into the impact on the domestic economy of the countries in order to improve the living standards of transit countries. The "Belt and Road Initiative" initiative is a combination of a set of four elements: international support, trade, investment and technical assistance in service (allowing Chinese professionals to stay in partner countries during the international project).

The issues of strategic partnership between Ukraine and China are considered in following domestic studies.

Human-geographical features of foreign economic relations of Ukraine and China in modern conditions are considered and the prospects of cooperation are determined in E. Dyakova's paper [6]. Particular attention is paid to the interaction of states within the international transport corridors, which also include the new Silk Road. The author also studied in detail the legal framework of Ukrainian-Chinese cooperation in the field of education, threats, prospects, strengths and weaknesses of cooperation were identified.

A. Klimchuk's research presents the factors of functioning of special economic zones of China and prospects of their development [14]. The author examines special economic zones as a key factor in China's development, in particular by the method of regression analysis. The author considers the prospects of reviving the new Silk Road for Ukraine, namely: possibility of obtaining additional funding through transit, additional loading of Black Sea ports, prospects for closer cooperation with other transit countries (Georgia, Kazakhstan) by increasing trade turnover.

The transport dimension of the "Belt and Road Initiative" is considered in S. Koshov's paper [23].

In particular, the author positions this project as China's own plan to build the Eurasian space in accordance with its own approaches and views. At the same time, an important task is to build the economies of transit countries. Strategically important issues for China are the optimization of international transport flows and development of cross-border transport infrastructure, and railway services development is part of the implementation of China's strategic goals for global economic leadership.

S. Hlavatka analyzed strategic significance of the "Belt and Road Initiative" [27]. In particular, the author notes the interest of Chinese investors in technological and research and production capabilities of Ukraine. The author attaches an important role to cooperation in space and aerospace industry, which will allow to realize the potential of Ukraine in this area. Ukraine is also seen as an interesting springboard for international tourism.

According to O. Oliynyk, China's government policy on foreign trade is based on the development of generally accepted in international practice forms and methods of foreign trade. The dominant direction in the field of "free trade" was decentralization of the management of the foreign economic complex, which was carried out in two directions: sectoral – creation of commercial and industrial enterprises and regional – providing varying degrees of autonomy in foreign trade [19].

I. Ivashchuk and M. Ornat's paper presents an overview of China's investment policy as an important tool for implementing global economic reforms. Also an important aspect of the country's activity is not only provision of investments, but also their attraction from other countries (in particular, developed European countries). In particular, China has passed more than 500 economic bills that provide a legal guarantee to foreign investors, "List of investment industries for foreign entrepreneurs" was published, which identified the main economic sectors for investment [15].

Analyzing domestic and foreign research on the subject, it should be noted that foreign research papers have a more critical view of the formation of a new economic zone, while domestic literature mostly highlights the prospects for such cooperation. Therefore, this issue needs a thorough study, in particular in terms of a comprehensive study of this initiative and the possible consequences of its implementation in Ukraine.

**Historical and geographical aspects of the implementation of the strategic partnership between Ukraine and China.** The first contacts between China and European countries were established in ancient times on the basis of trade, commodity exchange took place in the first century BC. The Great Silk Road played a major role in the de-

velopment of economic relations between Europe and China. This is a system of caravan routes which connected the trade centers of the vast expanse between China and the Mediterranean for more than a thousand years as a symbol of East-West interaction, a common historical and cultural heritage [20].

In the 21st century, in the era of globalization and heightened political instability in the world, China has proposed the "Belt and Road Initiative" - to restore and develop the Great Silk Road and its core historical value: "peace and cooperation, openness and tolerance, mutual borrowing and experience exchange, mutual benefit and common gain". The project is designed to increase the orderliness of the free flow of economic factors and efficient allocation of resources, as well as for further market integration and acceleration of regional economic cooperation, which should benefit to all participants. The result could be the formation of a large-scale free-trade area from China to Europe. About three billion people live in the path of the project, which gives grounds to talk about the mega-potential of the market that can be covered by the project. [8].

The "Belt and Road Initiative" is a manifestation of a new model of international cooperation. The declared goal of launching the new Silk Road is to strengthen the partnership between transit countries in order to create a comprehensive network of cooperation, comprehensive, independent, balanced and sustainable development [34]. One of the most important tasks of the initiative is the integration of the economies of transit countries and formation of mutually beneficial cooperation based on regional economic cooperation. The objectives of this cooperation are the development of a single unified transport infrastructure from the Pacific Ocean to the Baltic Sea. As a result - intensification and deepening of trade relations, which will be accompanied by the abandonment of any barriers for trade, accelerating the delivery time of goods, increasing foreign exchange flows, etc. [16].

Considering the state and dynamics of bilateral trade cooperation, it should be noted that in accordance with Article 2 of the Agreement on Trade and Economic Cooperation, signed and entered into force in 1992, there is the most favored nation in all areas of trade and economic cooperation between Ukraine and China [5, 24]. The document "Concept and Action Plan to promote the joint construction of the "Economic Belt of the Silk Road" and the "Maritime Silk Road of the 21st Century" adopted in late March 2015 by the State Committee for Development and Reform, the Ministry of Foreign Affairs and the Ministry of Commerce of China, states that the project seeks to connect Asia, Europe and Africa in five routes [14, 16]. Based on these routes and using the existing transport infrastructure, it is

planned to form six economic corridors [25, 26, 35]:

1) "New Eurasia" is an international railway line coming from Lianyungang in China's Jiangsu Province to Rotterdam in the Netherlands.

2) "China-Mongolia-Russia": reconstruction of the land bridge "Eurasia-Russia", construction of the "Mongolian steppe road"

3) "China-Central Asia-West Asia" - it passes from Xinjiang, covers five Central Asian countries (Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Uzbekistan and Turkmenistan), as well as Iran and Turkey in Western Asia.

4) "China-Indochin" – between China and five countries in Indochin.

5) "China-Pakistan" – creation of the economic corridor from the city of Kashgar in northwestern China, to the port of Gwadar in southern Pakistan.

6) "Bangladesh-China-India-Myanmar" – it will cover 1.65 million square kilometers, about 440 million people due to the combination of road, railways, water and air links in the region.

In order to implement such a large-scale project, the Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB) was established at the initiative of the PRC in Beijing in 2016. Participants of the new international financial organization led by China are 57 countries, including France, Poland, Spain and UK (USA and Japan refused to participate in the project). The authorized capital of the Asian Bank is 100 billion USD. China owns the largest share – 26.06%, which gives it the actual right of veto. The largest investor outside the Asian region is Germany, Ukraine, in the long term, can count on a part of more than 260 million tons, which make up the volume of trade between China and the EU. During the implementation of the initiative in more than 20 transit countries of the new Silk Road, Chinese enterprises created 56 zones of trade and economic cooperation, more than 18.5 billion USD have been invested in them, as well as 180 thousand workplaces were created [5].

**The current state of strategic partnership between Ukraine and China in terms of implementation of the "Belt and Road Initiative".** Nowadays Ukraine is interested in cooperation with China in the implementation of the initiative, in particular in the implementation of joint projects in the field of investments and development of transport infrastructure, development of science-intensive and innovative technologies. In particular, after the ratification of the Association Agreement with the EU, the transport and geographical position of Ukraine was significantly improved, because the procedure for crossing the border by passengers and cargo towards Europe was greatly simplified. Thus, Ukraine is a sufficiently profitable strategic partner for China. Consider the balance of imports and exports of

goods and services between China and Ukraine from 2009 to 2019 (Table 1).

Ukrainian-Chinese trade and economic relations during the studied period were marked by the stability of increasing bilateral turnover of goods and services during the whole period. Reduction in imports against the background of the growth of export indicators led to a reduction of the negative

balance indicator. At the same time, China remains one of the world's largest trading partners of Ukraine. In June 2011, the "Joint Declaration on the Establishment and Development of Strategic Partnership Between Ukraine and the PRC" was signed. Consider the commodity structure of Ukraine's imports and exports in 2017-2019. (Table 2, Table 3).

As for goods exported to China during the stu-

Table 1

Dynamics of bilateral trade of goods between Ukraine and China and services (2009-2019 mln. USD) (constructed by authors according to [10])

Million USD/ Year	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Saldo</b>	-1242	-3331	-4028	-6067	-4773	-2738	-1459	-2797	-2390	-2420,12	-2449
<b>Products</b>	-1299,9	-3384	-4088	-6122	-4760	-2737	-1371	-2855	-24 39	-2498,45	-2557
<b>Services</b>	57,9	52,8	60,6	55,8	-12,9	-0,3	-87,8	-37,2	-44,6	-65,69	-44,73

Table 2

Commodity structure of exports of Ukraine in 2017-2019, billion USD (constructed by authors according to [10])

№	Name of the good	2017	2018	2019	Major partners and their share in total export of goods in 2019
1.	Ferrous metals	14 319	12 907	8 077	Turkey (16.9%), Italy (12.1%), Egypt (11.9%)
2.	Grain	6 371	6 544	6 057	Egypt (12.5%), <b>China (11.2%)</b> , Spain (9.8%)
3.	Fats and oils	3 507	3 823	3 299	India (32%), <b>China (16.2%)</b> , Spain (4.8%)
4.	Ores, slag and ash	3 917	3 472	3 716	<b>China (43.5%)</b> , Czech Republic (10.2%), Poland (9.8%)
5.	Electric machinery	3 134	2 682	1 979	Hungary (23.5%), Germany (15.3%), Poland (14.1%)
6.	Wood and wood products	1 143	1 261	1 106	Poland (16.1%), Turkey (14.3%), Romania (11.6%)
7.	Seeds and fruits of oil plants	2 048	1 687	1 475	Turkey (26.4%), France (12.1%), Iran (10.6%)
8.	Nuclear reactors, boilers, machines	3 840	2 977	1 961	France (45.9%), Kazakhstan (6.8%), India (6.7%)
9.	Residues and wastes of the food industry	923	1 108	995	Belarus (18.2%), Turkey (16.6%), France (15.1%)
10.	Products of inorganic chemization	1 744	1 178	967	Belarus (63%), USA (7.4%), Turkey (6.4%)

dy period, it is worth noting grain crops, fats and oils of animal or vegetable origin, ore, slag and ash.

It should be noted nuclear reactors, boilers, machines, electric machines, plastics, polymeric materials, various chemical products and ferrous metals in the structure of imports from China. Thus, China occupies quite high positions in international trade of Ukraine according to the results of the first 2 months of 2020 in terms of imports of goods [10]. In terms of exports of goods, China is in second

place after the countries of the European Union, there is also an extremely rapid growth in exports of goods from Ukraine, so the cooperation of countries is quite intensive.

It should be noted that there is a significant imbalance between Ukraine and China in trade operations: uniform distribution of commodity groups is characterized for the import of Chinese goods, and the dominance of one commodity group of raw materials orientation is inherent for Ukrainian exports.

Commodity structure of imports of Ukraine in 2017-2019, billion USD  
(constructed by authors according to [10])

№	Name of the good	2017	2018	2019	Major partners and their share in total import of goods in 2019
1.	Mineral fuels; oil and products of its distillation	21 236	15 116	10 882	Russia (34.1%), Belarus (16.7%), Germany (8.9%)
2.	Nuclear reactors, boilers, machines	6 910	4 913	3 578	Russia (22.4%), <b>China (16.4%)</b> , Germany (14.8%)
3.	Electric machinery	5 559	3 806	2 695	<b>China (32.1%)</b> , Germany (10%), Poland (8.5%)
4.	Means of ground transport, except for railway	5 444	2 450	1 619	Germany (19.6%), the United States (12.1%), Japan (11.1%)
5.	Plastics, polymeric materials	3 553	2 922	2 092	<b>China (13.8%)</b> , Germany (12.8%), Russia (11.4%)
6.	Pharmaceutical products	3 100	2 472	1 367	Germany (18.4%), India (8%), France (7.8%)
7.	Various chemical products	1 305	1 029	931 067	<b>China (21.9%)</b> , Germany (18.3%), France (10.9%)
8.	Compost	816	593	708	Russia (73.8%), Belarus (16.9%), Uzbekistan (2.3%)
9.	Paper and cardboard	1 684	1 102	751	Russia (18.3%), Germany (14.8%), Finland (12.7%)
10.	Ferrous metals	2 231	1 297	685	<b>China (29.6%)</b> , Russia (19%), Poland (8.3%)

One of the ways to solve this issue is to supply agricultural products to the Chinese market. To date, Ukraine and China have signed a significant number of contracts for the supply of Ukrainian products: grain (primarily corn), meat and meat products. The Chinese side has conducted a number of measures to certify Ukrainian agricultural products. China is also interested in establishing cooperation with Ukraine in the aircraft production. The Chinese side is exploring the possibilities of mass production of a new Ukrainian transport AN-178 airplane with a carrying capacity of up to 18 tons of the SE "Antonov" development at capacities in China [3, 14, 15].

In the financial sphere, in order to improve technical and economic cooperation, Ukraine and China agreed on mutual exchange of currencies, and establishment of a swap line in the amount of 15 billion Chinese yuan. Funds received under the agreement can be used to finance trade operations and direct investments between the two countries.

**Outlining the results of research.** The issue of attracting foreign investments within the framework of strategic partnership in order to restore the development of all sectors of the economy of Ukraine in today's conditions is one of the primary tasks of our state. In turn, China is one of the largest investors in the world: Chinese investments are invested in more

than 6,128 foreign companies located in 156 countries and regions of the world. [29].

The issue of Ukraine's cooperation with China, including in the investment sphere, is strategically important and prospective in view of the participation of our state in the initiative "Belt and Road Initiative". Signing of the respective agreement by Ukraine has led to an increase in economic and investment interest in energy, infrastructure, financial facilities in Ukraine. According to the State Statistics Service of Ukraine, the total volume of direct Chinese investments in the share capital of Ukraine amounted to \$33.6 million (0.1% of the accumulated foreign direct investments in Ukraine) at the beginning of 2019. Investments in the share capital from Ukraine to the Chinese economy amounted to \$0.6 million (0.09% of foreign direct investments in the share capital) (Fig. 1).

In terms of the sectoral structure of Chinese direct investments in the share capital, the largest share is the industry - 33.1%, in particular processing industry - 30.6%, extractive industry - 1.8%; professional and scientific-technical activities - 24.3%, as well as agriculture - 19.9% (Fig. 2).

At the beginning of 2018, the largest share of Chinese investments accounted for agriculture (37.6%) and industry (27%).

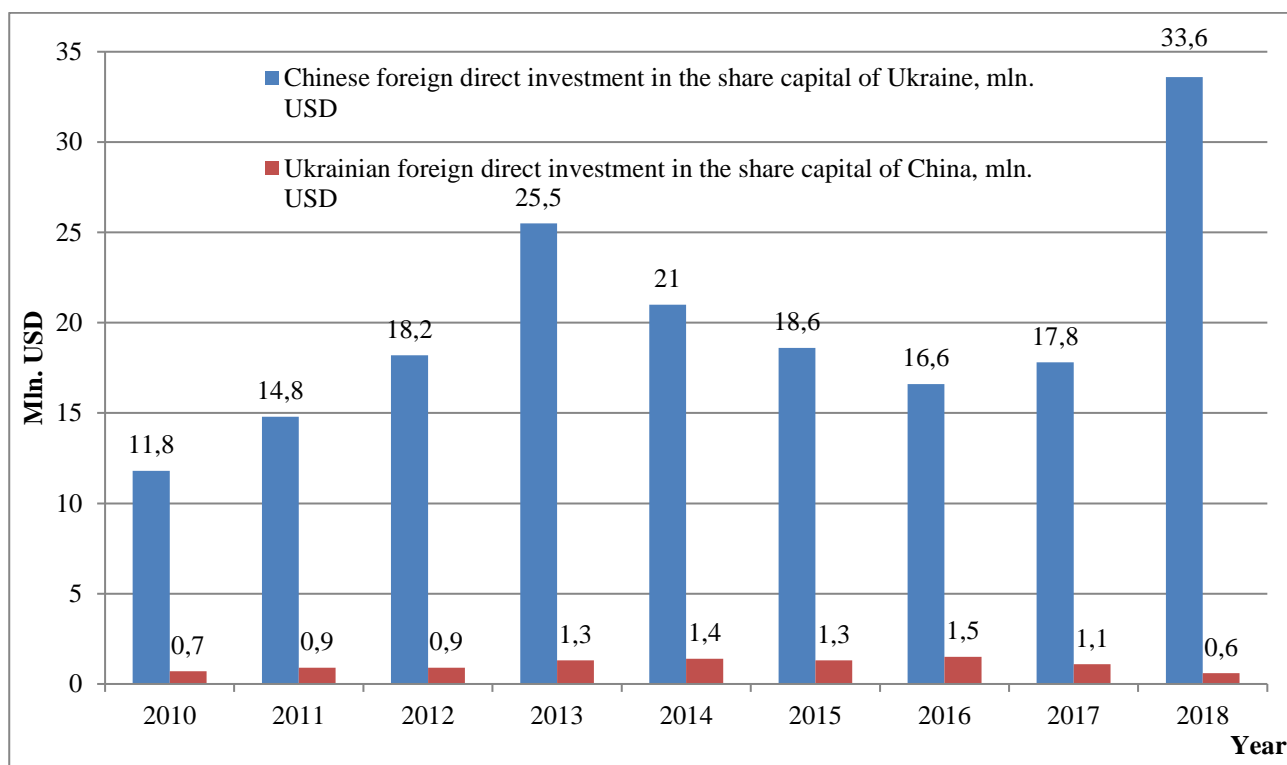


Fig. 1. Dynamics of Foreign Direct Investment in China in the Ukrainian economy in 2010-2018, million USD (constructed by authors according to [7, 17])

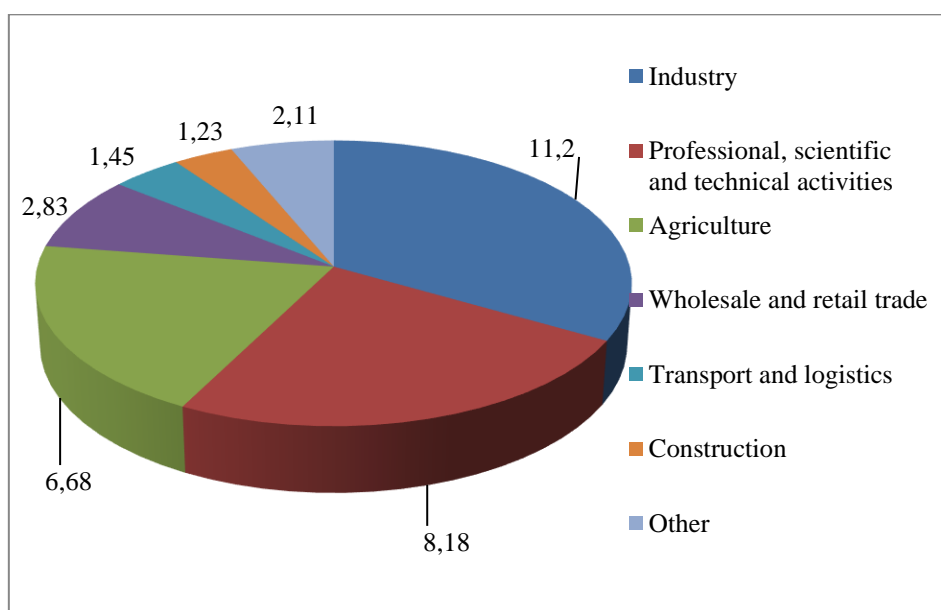


Fig. 2. Sectoral structure of Chinese direct investments in the share capital of Ukraine as of 01.01.2019, mln USD (constructed by authors according to [8])

Due to the growing number of Chinese projects in Ukraine, the share of investments in professional and scientific-technical activities has increased.

According to the State Statistics Service of Ukraine, there were 1162 enterprises with Chinese investments amounted at the beginning of 2019. This is more than 1% from the total number of enterprises in Ukraine (Fig. 3).

In addition to foreign direct investments, China carries out its presence in Ukraine through construc-

tion contracts. According to The American Enterprise Institute and The Heritage Foundation, from 2008 to 2018, China concluded contracts for construction in the amount of 8.2 billion USD, including 5 billion billion USD for energy, to the 2 billion USD for transportation industry (Table 4).

5 contracts in the total amount of 1.5 billion were concluded within the project "Belt and Road Initiative". In the period of 2015-2019 three agreements were concluded on the Ukrainian M&A mar-

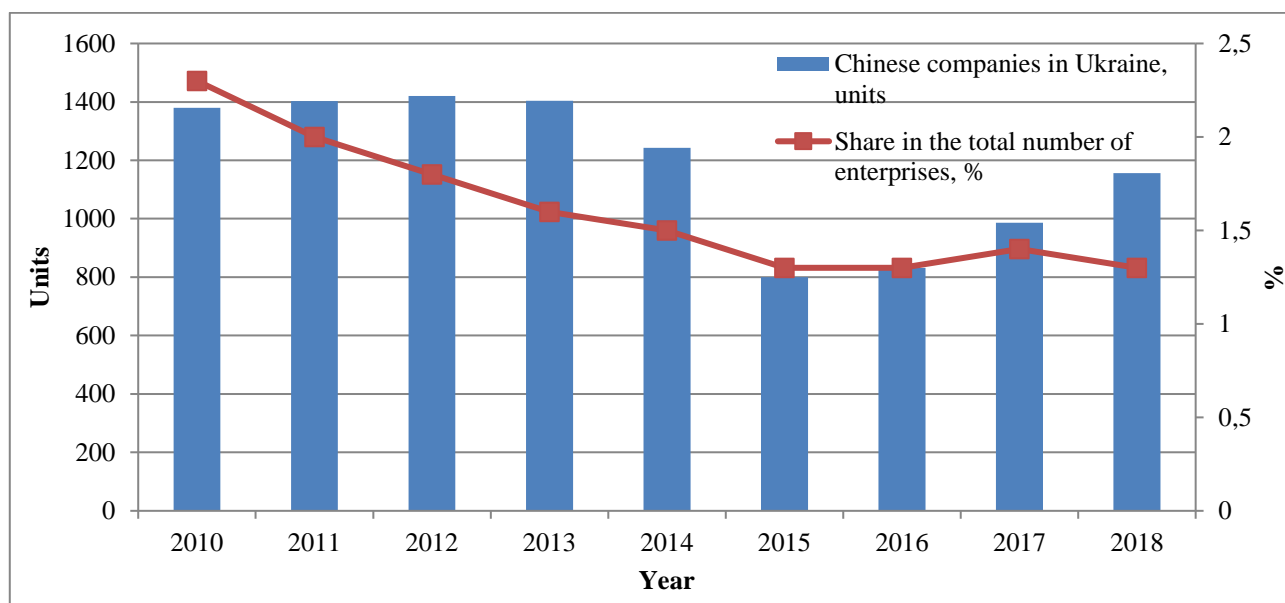


Fig. 3. Dynamics of the number of enterprises with Chinese investments, 2010-2018 (constructed by authors according to [7, 17])

Table 4

Chinese contracts for construction in Ukraine for 2011-2018 (constructed by authors according to [8])

Year	Chinese company	Sector	Within «Belt and Road Initiative»	Price, million USD
2008	Sinoma	Real estate	No	210
2011	Sinomach	Transport	No	2 370
2011	Sinomach	Agriculture	No	250
2011	Sinomach	Energy	No	1 160
2011	Sinomach	Energy	No	1 500
2011	Sinohydro	Energy	No	1 440
2013	Minmetals	Metallurgist	No	250
2017	<i>Xinjiang Communications Construction</i>	<i>Transport</i>	<i>Yes</i>	<i>100</i>
2018	<i>Sinomach</i>	<i>Energy</i>	<i>Yes</i>	<i>210</i>
2018	<i>Xinjiang Beiken Energy Engineering</i>	<i>Energy</i>	<i>Yes</i>	<i>120</i>
2018	<i>China Energy Engineering</i>	<i>Energy</i>	<i>Yes</i>	<i>250</i>
2018	<i>Power Construction Corp</i>	<i>Energy</i>	<i>Yes</i>	<i>340</i>
Total				8 200

ket between Chinese and Ukrainian companies in the energy, metallurgical and banking sectors, namely [2]:

- purchase of solar stations "East Solar", "Neptune Solar" (both in Mykolaiv region), "Danube SPP-1", "Danube SPP-2", "Franco Solar", "Franco Pivi", "Priozerna-1", "Priozerna-2", "Lymanska Energy 1", "Lymanska Energy 2" (all in Odessa region);
- purchase of mining company Consolidated Minerals with assets in Australia and Ghana;
- purchase of 99.99% of shares of the Ukrainian Bank for Reconstruction and Development.

As for the prospects for further investment cooperation, it should be noted that the President of Ukraine met with Chinese investors in July 2019, it was announced the desire of the Chinese to invest \$10 billion infrastructure projects, finance, green energy and agriculture. However, not all projects, about which agreements were concluded are implemented. The main reason is distrust to the Ukrainian side, which was formed through the misuse of funds and non-fulfillment of obligations under the relevant agreements (Table 5).

Some of these projects (for example, construction of the 8-kilometer passenger railway, which was to connect Kiev with boryspil international air-

Table 5

Ukrainian-Chinese projects: implemented, unrealized and planned (constructed by authors by data [2, 8, 32])

Industry	Project	Counterparties	Price	Status
<b>SUCCESSFULLY IMPLEMENTED OR IN PROGRESS</b>				
<b>Energy</b>	construction of Nikopol solar power plant with installed capacity of 200 MW	China Machinery Engineering Company (CMEC) DTEK	€230 million (\$250 million)	<i>Completed</i>
	construction of the wind farm with capacity of 0.5 GW in Mykolaiv region.	Tebian Electric Apparatus	500 million USD	<i>In progress</i>
<b>Infrastructure</b>	project on dredging in the port of Chornomorsk	China Harbour Engineering Company (CHEC)	\$14.6 million	<i>Completed</i>
	reconstruction of the road Odessa - Mikolaiv - Kherson (200 km)	China Road and Bridge Corporation (CRBC)	200 million USD	<i>In progress</i>
<b>Agriculture</b>	fruit processing, construction of fruit storage facilities, production and logistics complexes	China Haisum Engineering Ukrsadprom	515 million USD	<i>In progress</i>
<b>UNREALIZED</b>				
<b>Infrastructure</b>	"Air Express": construction of the 8-kilometer passenger railway, which was to connect Kiev with the international airport "Borispol"	China National Complete Engineering Corporation (CNCEC)	372.3 million USD	<i>Not implemented</i>
	megaport in Crimea: dredging up to 25 m	Beijing Interoceanic Canal Investment Management	3 bln USD	<i>Not implemented</i>
<b>PLANNED</b>				
<b>Infrastructure</b>	fourth metro line in Kiev	China Pacific Construction Group (CPCG) KCSA (15% of KCSA, the rest – loan of China Bank)	2 bln USD	<i>Scheduled</i>
	bridge across the Dnieper river in Kremenchuk	China Road and Bridge Corporation (CRBC)	340 million USD	<i>Scheduled</i>

port) were implemented at the expense of our state, some are implemented or are at the stage of development and planning. However, the coronavirus pandemic and its economic consequences have significantly slowed the implementation of many investment projects.

In general, the sphere of strategic cooperation has expanded considerably over the years of Ukrainian-Chinese diplomatic relations. Today, effective cooperation in the agro-industrial complex, energy, transport infrastructure development, financial and banking spheres is being carried out between the countries. Ukraine and China work closely in education, science, innovation and technology; cultural sphere, sports and tourism. However, real investments and commodity exchange are much less than

possible, but participation in the "Belt and Road Initiative" creates preconditions for more active interaction between Ukraine and China. The conditions of this kind of cooperation are attractive enough, but it is important to consider all the strengths, weaknesses, advantages and risks of this cooperation. We will use the SWOT-analysis method to comprehensively consider the possibilities of developing strategic cooperation between Ukraine and China (Table 6).

Analyzing opportunities, advantages, threats and disadvantages of the strategic cooperation between Ukraine and China in terms of the "Belt and Road Initiative" it should be noted that there are significant prospects for the transition of our country to a completely new level of economic development. However, such a scenario is possible only



SWOT analysis of strategic cooperation between Ukraine and China on "Belt and Road Initiative" (constructed by authors according to [1-35])

FEATURES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- concluding an agreement and creating a free-trade area between Ukraine and China;</li> <li>- use of Ukrainian agro-industrial opportunities in conjunction with China's technologies and investments; increase in the supply of agricultural products from Ukraine to China due to the fact that the country's reserves of own resources are insufficient to provide the population; applying the practice of agricultural lands lease (creation of food bases);</li> <li>- transport infrastructure development, deepening of transport and logistics cooperation;</li> <li>- cooperation in the military-technical sphere: possibility of Ukraine's participation in the creation of new products as a partner or executor of orders for the manufacture of aircraft, space rockets, armored vehicles, shipbuilding;</li> <li>- development of cooperation in the field of tourism;</li> <li>- creation of joint technoparks, "silicon valleys", compatible manufacture of high-tech products;</li> <li>- creation of advisory bodies on the development of Ukraine's relations with China to develop a strategy for the relations development</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- the pace of exports of Chinese goods is growing, forming a surplus of goods;</li> <li>- limited entry of domestic business into the Chinese market.</li> <li>- There is a tendency to increase imports of services in bilateral trade in services between Ukraine and China, which leads to a negative balance for Ukraine, which is likely to be deteriorated;</li> <li>- intensification of military actions in the East of Ukraine, deterioration of the investment climate;</li> <li>- imperfect legislation in the field of investment protection, unstable economic and political situation, minor awareness of Chinese investors about the economic and investment potential of Ukraine;</li> <li>- currently formed transport corridors within the framework of the new Silk Road do not pass through Ukraine, it can act only as an investor. The existing infrastructure can be a vertical connector between the central and southern corridors, but stable ply of commodity flows on it is not guaranteed</li> </ul>
ADVANTEGES	DISADVANTAGES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- favorable transport and geographical position makes Ukraine attractive to Chinese partners in terms of the possibility of creating a powerful transport and logistics hub, taking into account the existing significant trade ties with neighboring countries, an extensive railway network, system of roads and seaports;</li> <li>- high level of natural resources;</li> <li>- cooperation of Ukraine with the European Union and ratification of the cooperation agreement, which is important for China due to the possibility of expanding both economic and political relations with EU countries;</li> <li>- support for cooperation between the governments of both countries,</li> <li>- fight against corruption, privatization of property, reducing the time of customs procedures in Ukraine;</li> <li>- increase of the trade turnover between Ukraine and China, increase of the volume of services provided to Ukraine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- weak level of the investment cooperation development between countries due to imperfect legislation in the field of investment protection; difficult economic and political situation; low awareness of investors about Ukraine's potential;</li> <li>- a narrow range of export goods, mostly raw materials, which contributes to the formation of imbalances in the structure of trade;</li> <li>- non-full implementation of certain agreements between Ukraine and China, which may give rise to doubts about conclusion of new agreements;</li> <li>- most of investments within the country remain in the regions directly affected by the new Silk Road;</li> <li>- lack of financial evaluation of China's project plans in Ukraine;</li> <li>- Ukraine's transport infrastructure is in critical condition and needs modernization and reconstruction</li> </ul>

with the legislative and institutional support of the governments of both countries, development of the Strategy of Ukrainian-Chinese cooperation on acceptable terms for our country, thorough transformation of Ukraine's transport system to international requirements. Based on it, we offer a set of recommendations for the development of a strategic part-

nership between Ukraine and China:

- entering the Asian Infrastructure Investment Bank managing the operation of the new Silk Road;
- creating conditions and opportunities for agricultural products to enter the domestic market of China, and and the market of other countries in

Europe and Asia thanks to the benefits of the new Silk Road;

- preparation of the existing transport system of the state to international requirements, creation of safe conditions for transportation of the goods, providing high-quality service;
- establishing cooperation in the energy sector, development of alternative energy in Ukraine on the basis of attracted Chinese investments;
- to deepen relations within transport corridors in parallel with the expansion of Ukrainian-Chinese cooperation;
- use of Ukraine's tourism potential to attract Chinese investments.

**Conclusions.** The issue of foreign economic relations between Ukraine and China is quite relevant given that China is one of the superpowers with a highly developed economy and the world's largest investor. However, cooperation between our country and China is currently underdeveloped. The inflow of investments from China to Ukraine is slowed down by the military conflict in the east of the country, significant bureaucracy and corruption in the country, and a weak level of transport infrastructure development in the country. However, thanks to the 'Belt and Road initiative', Ukraine has the opportunity to be integrated into the new free economic zone formed by China and receive investment for transport development, certain benefits promised by China to the transit countries of the new Silk Road from China to Europe. Ukraine's ratification of the agreement with the European Union also plays a positive role in this process, which greatly facilitates the transit of goods from China through our country.

The issue of forming a new Silk Road is widely covered in the scientific literature. Scientists agree that formation of such an economic zone will significantly affect the world market for trade in goods and services, and will allow China to establish convenient "rules of the game" for it. Domestic researchers agree with this opinion, and see significant

prospects directly for Ukraine from participation in this project.

Our state is interested in China mostly not only as a transit country, but also as a strategic partner, but currently imports from China of both goods and services to Ukraine significantly exceeds exports. As for the structure, we export mainly raw materials, not finished products to China, which is a significant disadvantage. Analysing investments from China to Ukraine it should be noted that they are quite small, and even those projects which received investments are not always implemented (for example, the road Kyiv-Boryspil).

SWOT – analysis of opportunities, advantages, threats and disadvantages of strategic cooperation between Ukraine and China in terms of the "Belt and Road Initiative" proves the presence of a large number of possible directions for cooperation between the countries, namely: increasing the supply of agricultural products from Ukraine to China, deepening transport and logistics cooperation, cooperation in the military-technical sphere. Cooperation in the aspect of innovative development of the territory, namely creation of joint technoparks, "silicon valleys", etc. is particularly prospective. However, implementation of these opportunities depends largely on the desire for cooperation between the governments of both states, de-escalation of the conflict in the East of Ukraine, existence of precedents for non-fulfillment of certain agreements between Ukraine and China, which can serve as a reason for doubts about the conclusion of new agreements.

Among recommendations for the strategic partnership development between Ukraine and China, it is worth noting the urgent need to modernize the transport system of Ukraine, promote access of domestic products to the domestic market of China, development of alternative energy in Ukraine through investments from China due to the high energy dependence of our country, expansion of cooperation with other transit countries of the new Silk Road.

#### **Bibliography**

1. Аналітична записка щодо окремих питань розвитку економічного співробітництва України та Китаю в сучасних умовах. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1359/>
2. База M&A угод в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mergers.com.ua/ua/m-and-a-analysis/deals-database>
3. Власенко Л. В. Домінантні тенденції розвитку українсько-китайської торгівлі / Л. В. Власенко. – Науковий вісник Херсонського державного університету. – Серія Економічні науки, №22 (1), 2017. – С. 20–23.
4. Гончарук А. З. Аудит зовнішньої політики: Україна-Китай / А. З. Гончарук, Є. В. Гобова, В. О. Кіктенко, О. А. Коваль, С. А. Кошовий. – К.: Інститут світової політики, 2016. – 58 с.
5. Д'якова Є. О. Сучасний стан та проблеми українсько-китайського торговельно-економічного співробітництва / Є. О. Д'якова. – Економічна та соціальна географія. Вип. 60. – Київ, 2018. – С. 232-239.
6. Д'якова Є. О. Українсько-китайські зовнішньоекономічні зв'язки: суспільно-географічний аспект: дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.02 / Є. О. Д'якова; Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – Київ, 2018. – 218 с.
7. Державна служба статистики України. Прямі інвестиції (акціонерний капітал) в економіці України за країнами світу; країнами ЄС; видами економічної діяльності; по регіонах (2010–2018) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/zd/inv\\_zd/pi\\_ak\\_ks\\_reg/pi\\_ak\\_ks\\_reg\\_u.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/zd/inv_zd/pi_ak_ks_reg/pi_ak_ks_reg_u.xlsx)

8. Дроботюк О. Українсько-китайське економічне співробітництво: підсумки 2010-2018 рр. / О. Дроботюк. - УКРАЇНА-КИТАЙ №4 (18) 2019. С. 8-16.
9. Івацук І. О. Інвестиційні пріоритети економічних реформ Китаю в умовах глобальної нестабільності / І. О. Івацук, М. Р. Орнат. – Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет – Т.: «Економічна думка», 2015. – Том 21. – № 2. – С. 309-316.
10. Інформаційно-аналітичні матеріали Міністерства розвитку економіки, торгівлі, та сільського господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&id=ce61591c-858a-4e77-885e-edabb095097c&tag=ZovnishniaTorgivlia-analitika>
11. Кабінет Міністрів України: оборонні відомства України та КНР обговорили перспективи військового та військово-технічного співробітництва [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=246352624&cat\\_id=2484461](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246352624&cat_id=2484461)
12. Китай ініціює створення зони вільної торгівлі з Україною – посол КНР [Електронний ресурс]. – Доступно з: <http://www.unian.ua/business/1609726-kitay-initsiyue-stvorenniya-zoni-vilnoji-torgivli-z-ukrajinoju-posol-knr.html>
13. Кіктенко В. «Один пояс, один шлях» – глобальний геоекономічний проєкт Китаю / В. Кіктенко. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sinologist.com.ua/odin-poyasodin-shlyah-globalnij-geoekonomichnij-proekt-kitayu/>
14. Климчук А. А. Суспільно-географічні чинники функціонування спеціальних економічних зон Китаю: дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.02 / А. А. Климчук; Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – Київ, 2017. – 206 с.
15. Коваль О. А. Форум міжнародного співробітництва «Один пояс, один шлях» – новий етап реалізації китайської стратегії глобального розвитку і міжнародного співробітництва / О. А. Коваль. – Українська асоціація китаєзнавців [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sinologist.com.ua/forum-mizhnarodnogo-spivrobitnitstva-odin-poyasodin-shlyah-novij-etap-realizatsiyi-kitajskoyi-strategiyi-globalnogo-rozvitkumizhnarodnogo-spivrobitnitstva/>
16. Кошовий С. А. Економічний пояс великого шовкового шляху: транспортний вимір / С. А. Кошовий. – Китаєзнавчі дослідження. – 2014. – №1-2. – С. 51-60.
17. Кубів С. Поглиблення торговельної та економічної співпраці вздовж проєкту «Пояс і шлях» для розвитку безперешкодної і ефективної торгівлі та взаємовигідного розвитку / С. Кубів. - Українська асоціація китаєзнавців [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sinologist.com.ua/s-kubiv-pershij-vitse-prem-fer-ministrukrayini-pogliblennya-torgovelnovi-ta-ekonomichnoi-spivpratsi-vzdovzh-proektu-poyasshlyah-dlya-rozvitku-bezpereshkodnoi-efektivnoi-torgivli-ta-vzay/>
18. Міністерство освіти і науки України. Аналітична довідка. Стан розвитку науки і техніки, результати наукової, науково – технічної, інноваційної діяльності, трансферу технологій за 2018 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mon.gov.ua>
19. Олійник О. Зовнішньоекономічна політика Китаю в умовах глобалізації світової економіки: уроки для України / О. Олійник. – Вісник Національного банку України. – 2015. - № 6. - С. 40-47.
20. Особливості торговельних відносин Середньовічної Європи з Китаєм / Історія міжнародних економічних відносин за ред. проф. І. М. Грабинського. – 335 с.
21. Офіційний сайт Посольства України в Китайській Народній Республіці. Договірні-правова база між Україною та Китаєм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://china.mfa.gov.ua/ua/ukraine-cn/legal-acts>
22. Поровозник В. Проєкт «Один пояс-один шлях» можливості для України / В. Поровозник, В. Перебийніс // Міжнародний центр перспективних досліджень. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.icps.com.ua/assets/uploads/images/files/china\\_project\\_s.pdf](http://www.icps.com.ua/assets/uploads/images/files/china_project_s.pdf)
23. Торгово-промислова палата України. Проєкт «Один пояс – один шлях» приєднує Україну до глобальних тенденцій [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ucci.org.ua/press-center/ucci-news/proekt-odin-poyasodin-shliakh-priiednuie-ukrayinu-do-globalnikh-tendentsii>
24. Угода між Урядом України і Урядом Китайської Народної Республіки про торговельно-економічне співробітництво [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/156\\_008](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/156_008)
25. Belt & Road Initiative expected to boost Mongolia's development: The State Council of the People's Republic of China. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://english.gov.cn/news/international\\_exchanges/2016/07/12/content\\_281475391540143.htm](http://english.gov.cn/news/international_exchanges/2016/07/12/content_281475391540143.htm)
26. Collin Baffa Bangladesh-China-India-Myanmar Economic Corridor Builds Steam / Baffa Collin // Asia Briefing. Dezan Shira and Associates – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.asiabriefing.com/news/2013/10/bangladesh-china-india-myanmar-economic-corridor-builds-steam>
27. Glovatska. S. THE STRATEGIC INITIATIVE «THE BELT AND ROAD» AND IT'S MEANING FOR UKRAINE / S. Glovatska. - Transport Development, №2 (3). – P. 202-211.
28. Hideo O. The Belt and Road Initiative (BRI) in the context of China's opening-up policy / O. Hideo. Journal of contemporary East Asia studies. 2018. – Vol. 7, №2. – P. 85–103.
29. Ivana Casaburi. Chinese Investment in Europe 2018-2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://itemsweb.esade.edu/research/esadegeo/ENGChineseInvestmentInEurope201516.pdf>
30. Lei Y. An international program on Silk Road Disaster Risk Reduction – a Belt and Road initiative (2016–2020) / Y. Lei. Journal of Mountain Science J. Mt. Sci. №20115(7). 1383-1396.
31. Nordin A. Will Trump make China great again? / A. Nordin, W. Mikael. The belt and road initiative and international order nternational Affairs, Volume 94, Issue 2. – P. 231–249.

32. *Ukrainian Institute for the Future* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://strategy.uifuture.org/>
33. Vieira V. *From Third World Theory to Belt and Road Initiative: International Aid as a Chinese Foreign Policy Tool* / V. Vieira. *Contexto Internacional*. – Vol.41, №3. – 2019. – P. 529-551.
34. *Vision and Actions on Jointly Building Silk Road Economic Belt and 21st-Century Maritime Silk Road* / National Development and Reform Commission (NDRC). *People's Republic of China*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/201503/t20150330\\_669367.html](http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/201503/t20150330_669367.html)
35. Yougang C. *Chinese infrastructure: The big picture* / C. Yougang. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mckinsey.com/global-themes/winning-in-emerging-markets/chinese-infrastructure-the-big-picture>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

UDC 339.942(477:510)

***Kateryna Kravchenko,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [kateryna.kravchenko@karazin.ua](mailto:kateryna.kravchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

***Yu Zheng,***

PhD (Physics and Mathematics), Professor,  
School of Electronic and Information, Qingdao University,  
308 Ningxia Rd., Qingdao, Shandong Province, P.R. of China,  
e-mail: [zhengyu@qdu.edu.cn](mailto:zhengyu@qdu.edu.cn), <https://orcid.org/0000-0001-6166-5733>;

***Nataliia Dobrovol'ska,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Tourism and Hotel Business,  
Faculty of Hotel, Restaurant and Tourist Business,  
Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics,  
8 Otakar Yarosh lane, Kharkiv, 61045, Ukraine,  
Department of Human Geography and Regional Studies, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [natalie.dobrovol'skaya@gmail.com](mailto:natalie.dobrovol'skaya@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5583-2179>;

***Iryna Scryl,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [skri1403@gmail.com](mailto:skri1403@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2010-0872>

## UKRAINE - CHINA STRATEGIC PARTNERSHIP: CURRENT SITUATION, PROBLEMS AND PROSPECTS

**Purpose.** The paper examines the peculiarities of the contemporary state and opportunities of further development of strategic partnership between Ukraine and China. The purpose of the paper is to study the state of implementation of the "Belt and Road Initiative" within the strategic partnership between Ukraine and China, as well as to identify threats and prospects for this form of cooperation for economic development of Ukraine.

**Scientific novelty.** The paper analyzes the scientific achievements of domestic and foreign researchers on the possibilities of Ukraine's inclusion in the "Belt and Road Initiative", it has been analyzed the current state of strategic partnership between Ukraine and China in the aspect of the project implementation, analyzed the dynamics of bilateral trade between Ukraine and China over the past 10 years, and disclosed the commodity structure of foreign trade between the countries. Investment flows between China and Ukraine have been analyzed, implemented, projected and not implemented projects of Ukraine, which were financed by Chinese investments have been considered. SWOT analysis of strategic cooperation between Ukraine and China in terms of the "Belt and Road Initiative" was carried out and a set of recommendations for the strategic partnership development between Ukraine and China was proposed in the paper.

**Results.** The dynamics of trade in services between Ukraine and China during the studied period had the following changes: growth was observed from 2011, 2014, 2016 and 2019, a positive balance for Ukraine was from 2009 to 2013. The structure of Ukrainian exports of services to China was dominated by: transport services 54.3%, business services 22.8%, repair and maintenance services, which do not belong to other categories 8.2%. The structure of imports of services from China was dominated by: services related to financial activities 57.7%, transport services 6.2%. Currently there is a significant imbalance in trade operations be-

tween Ukraine and the People's Republic of China. The largest share in the sectoral structure of Chinese direct investments in the share capital occupies the industry – 33.1%, in particular processing industry - 30.6%, extractive industry - 1.8%; professional and scientific-technical activities – 24.3%, as well as agriculture – 19.9% (Fig. 2). The SWOT-analysis conducted of opportunities, advantages, threats and advantages of strategic cooperation between Ukraine and China in terms of the "Belt and Road Initiative" proves the presence of a large number of possible directions for cooperation between the countries, but their successful implementation of these opportunities largely depends on the desire for cooperation between the governments of both countries.

**Practical significance.** The results of this study can be used by the authorities at the state level to improve the conditions of strategic partnership between Ukraine and China, to attract foreign investment in the necessary sectors of the economy.

**Keywords:** strategic partnership, foreign economic cooperation, trade, investments, projects, Silk Road, "One Belt, One Road", problems

### References

1. *Anality`chna zapy`ska shhodo okremy`x py`tan` rozvy`tku ekonomichnogo spivrobitny`czstva Ukrayiny` ta Ky`tayu v suchasny`x umovax* [Analytical note on some issues of economic cooperation between Ukraine and China in modern conditions]. Available at: <http://www.niss.gov.ua/articles/1359/> [in Ukrainian].
2. *Baza M&A ugod v Ukrayini* [Base of M&A agreements in Ukraine]. Available at: <https://mergers.com.ua/ua/m-and-a-analysis/deals-database> [in Ukrainian].
3. *Vlasenko, (2017). Dominantni tendenciyi rozvy`tku ukrayins`ko-ky`tajs`koyi torgivli* [Dominant trends in the development of Ukrainian-Chinese trade]. - *Naukovy`j visny`k Xersons`kogo derzhavnogo universy`tetu. – Seriya Ekonomichni nauky`*, 22 (1), 20–23 [in Ukrainian].
4. *Goncharuk, A., Gobova, Ye., Kiktenko, V., Koval`, O., Koshovy`j, S. (2016). Audy`t zovnishn`oyi polity`ky`:* *Ukrayina-Ky`taj* [Foreign Policy Audit: Ukraine-China]. *Kyiv. Insty`tut svitovoyi polity`ky`*, 58 [in Ukrainian].
5. *D`yakova, Ye. (2018). Suchasny`j stan ta problemy` ukrayins`ko-ky`tajs`kogo torgovel`no-ekonomichnogo spivrobitny`czstva* [Current state and problems of Ukrainian-Chinese trade and economic cooperation]. *Ekonomichna ta social`na geografiya, Ky`yiv. 60*, 232-239 [in Ukrainian].
6. *D`yakova, Ye. (2018). Ukrayins`ko-ky`tajs`ki zovnishn`oekonomichni zv'yazky`:* *suspil`no-geografichny`j aspekt* [Ukrainian-Chinese foreign economic relations: socio-geographical aspect]. *Candidate's thesis. Ky`yiv. nacz. un-t im. Tarasa Shevchenka. 218* [in Ukrainian].
7. *Derzhavna sluzhba staty`sty`ky` Ukrayiny`. Pryami investy`ciji (akcionerny`j kapital) v ekonomici Ukrayiny`za krayinamy` svitu; krayinamy` YeS; vy`damy` ekonomichnoyi diyal`nosti; po regionax (2010–2018).* [State Statistics Service of Ukraine. Direct investment (equity) in the economy of Ukraine by countries; EU countries; types of economic activity; by regions (2010–2018)]. Available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/zd/inv\\_zd/pi\\_ak\\_ks\\_reg/pi\\_ak\\_ks\\_reg\\_u.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/zd/inv_zd/pi_ak_ks_reg/pi_ak_ks_reg_u.xlsx) [in Ukrainian].
8. *Drobotyuk, O. (2019). Ukrayins`ko-ky`tajs`ke ekonomichne spivrobitny`czstvo: pidsumky` 2010-2018 rr.* [Ukrainian-Chinese economic cooperation: results of 2010-2018]. *UKRAYiNA-KY`TAJ*, 4 (18), 8-16 [in Ukrainian].
9. *Ivashhuk, I. Ornat, M. (2015). Investy`cijnii priory`tety` ekonomichny`x reform Ky`tayu v umovax global`noyi nestabil`nosti* [Investment priorities of China's economic reforms in the context of global instability]. *Ekonomichny`j analiz: zb. nauk. prac`z`. Ternopil`s`ky`j nacional`ny`j ekonomichny`j universy`tet – T.: «Ekonomichna dumka», 2015, 21( 2), 309-316* [in Ukrainian].
10. *Informacijno-anality`chni materialy` Ministerstva rozvy`tku ekonomiky`, torgivli, ta sil`s`kogo gospodarstva Ukrayiny`* [Information and analytical materials of the Ministry of Economic Development, Trade and Agriculture of Ukraine]. Available at: <https://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&id=ce61591c-858a-4e77-885e-edabb095097c&tag=ZovnishniaTorgivlia-analitika> [in Ukrainian].
11. *Kabinet Ministriv Ukrayiny`: oboronni vidomstva Ukrayiny` ta KNR obgovory`ly` perspekty`vy` vijs`kovogo ta vijs`kovo-texnichnogo spivrobitny`czstva* [Cabinet of Ministers of Ukraine: Defense Ministries of Ukraine and China discuss prospects of military and military-technical cooperation]. Available at: [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=246352624&cat\\_id=2484461](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246352624&cat_id=2484461) [in Ukrainian].
12. *Ky`taj iniciyuye stvorennya zony` vil`noyi torgivli z Ukrayinoyu – posol KNR* [China initiates the creation of a free trade zone with Ukraine - Ambassador of China]. Available at: <http://www.unian.ua/business/1609726-kitay-initsiyue-stvorennya-zoni-vilnoji-torgivli-z-ukrajinoyu-posol-kr.html> [in Ukrainian].
13. *Kiktenko, V. (2020). «Ody`n poyas, ody`n shlyax» – global`ny`j geoekonomichny`j proekt Ky`tayu* [One Belt, One Road is China's global geoeconomic project]. Available at: <http://sinologist.com.ua/odin-poyasodin-shlyah-globalnij-geoekonomichnij-proekt-kitayu/> [in Ukrainian].
14. *Kly`mchuk, A. (2017). Suspil`no-geografichni chy`nny`ky` funkcionuvannya special`ny`x ekonomichny`x zon Ky`tayu* [Socio-geographical factors of the functioning of special economic zones of China]. *Candidate's thesis. Ky`yiv. nacz. un-t im. Tarasa Shevchenka. 206* [in Ukrainian].
15. *Koval`, O. (2019). Forum mizhnarodnogo spivrobitny`czstva «Ody`n poyas, ody`n shlyax» – novy`j etap realizaciyi ky`tajs`koyi strategiyi global`nogo rozvy`tku i mizhnarodnogo spivrobitny`czstva* [One Belt, One Road International

- Cooperation Forum is a new stage in the implementation of China's global development strategy and international cooperation]. – *Ukrayins'ka asociaciya ky'tayeznavciv*. Available at: <http://sinologist.com.ua/forum-mizhnarodnogo-spivrobitnitstva-odin-poyasodin-shlyah-novij-etap-realizatsiyi-kitajskoyi-strategiyi-globalnogo-rozvitkumizhnarodnogo-spivrobitnitstva/> [in Ukrainian].
16. Koshovy`j, S. (2014). *Ekonomichny`j poyas vely`kogo shovkovogo shlyaxu: transportny`j vy`mir* [The economic belt of the Great Silk Road: the transport dimension]. – *Ky`tayeznavchi doslidzhennya*, №1-2, 51-60 [in Ukrainian].
  17. Kubiv, S. (2019). *Pogly`blennya torgovel`noyi ta ekonomichnoyi spivpraci vzdovzh proektu «Poyas i shlyax» dlya rozvy`tku bezpereshkodnoyi i efekty`vnoyi torgivli ta vzayemovy`gidnogo rozvy`tku* [Deepening trade and economic cooperation along the Belt and Road project for the development of smooth and efficient trade and mutually beneficial development]. – *Ukrayins'ka asociaciya ky'tayeznavciv*. Available at: <http://sinologist.com.ua/s-kubiv-pershij-vitse-prem-yer-ministrukrayini-pogliblennya-torgovelnoyi-ta-ekonomichnoyi-spivpratsi-vzdovzh-proektu-poyasshlyah-dlya-rozvitku-bezpereshkodnoyi-efektivnoyi-torgivli-ta-vzay/> [in Ukrainian].
  18. *Ministerstvo osvity` i nauky` Ukrainy`*. *Analitichna dovidka. Stan rozvy`tku nauky` i teknyky`, rezul`taty` naukovoyi, naukovo – texnichnoyi, innovacijnoyi diyal`nosti, transferu texnologij za 2018 rik* [Ministry of Education and Science of Ukraine. Analytical reference. The state of development of science and technology, the results of scientific, scientific - technical, innovative activities, technology transfer in 2018]. Available at: <http://mon.gov.ua> [in Ukrainian].
  19. Olijny`k, O. (2015). *Zovnishn`oekonomichna polity`ka Ky`tayu v umovax globalizatsiyi svitovoyi ekonomiky`: uroky` dlya Ukrainy`* [China's foreign economic policy in the context of globalization of the world economy: lessons for Ukraine]. – *Visny`k Nacional`nogo banku Ukrainy`*, 6, 40-47 [in Ukrainian].
  20. Graby`ns`kiy, I. (2016). *Osobly`vosti torgovel`ny`x vidnosy`n Seredn`ovichnoyi Yevropy` z Ky`tayem* [Features of trade relations of Medieval Europe with China]. – *Istoriya mizhnarodny`x ekonomichny`x vidnosy`n*, 335 [in Ukrainian].
  21. *Ofitsijny`j sajt Posol`stva Ukrainy` v Ky`tajs`kij Narodnij Respublici*. *Dogovirno-pravova baza mizh Ukrainoyu ta Ky`tayem* [Official site of the Embassy of Ukraine in the People's Republic of China. Legal framework between Ukraine and China]. Available at: <http://china.mfa.gov.ua/ua/ukraine-cn/legal-acts> [in Ukrainian].
  22. Porovozny`k, V., Pereby`jnis V. (2019). *Proyekt «Ody`n poyas-ody`n shlyax» mozhly`vosti dlya Ukrainy`* [One Belt One Road project opportunities for Ukraine]. – *Mizhnarodny`j centr perspekty`vny`x doslidzhen*. Available at: [http://www.icps.com.ua/assets/uploads/images/files/china\\_project\\_s.pdf](http://www.icps.com.ua/assets/uploads/images/files/china_project_s.pdf) [in Ukrainian].
  23. *Torgovo-promy`slova palata Ukrainy`*. *Proyekt «Ody`n poyas – ody`n shlyax» pry`yednuye Ukrainu do global`ny`x tendencij* [Chamber of Commerce and Industry of Ukraine. The "One Belt - One Road" project joins Ukraine to global trends]. Available at: <https://uccu.org.ua/press-center/uccu-news/proekt-odin-poiasodin-shliakh-priiednuie-ukrainu-do-globalnikh-tendentsii> [in Ukrainian].
  24. *Ugoda mizh Uryadom Ukrainy` i Uryadom Ky`tajs`koyi Narodnoyi Respubliki` pro torgovel`no-ekonomichne spivrobitny`ctvo* [Agreement between the Government of Ukraine and the Government of the People's Republic of China on trade and economic cooperation]. Available at: [http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/156\\_008](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/156_008) [in Ukrainian].
  25. *Belt & Road Initiative expected to boost Mongolia's development: The State Council of the People's Republic of China*. Available at: [http://english.gov.cn/news/international\\_exchanges/2016/07/12/content\\_281475391540143.htm](http://english.gov.cn/news/international_exchanges/2016/07/12/content_281475391540143.htm)
  26. Collin, B. (2019). *Bangladesh-China-India-Myanmar Economic Corridor Builds*. – *Asia Briefing*. Dezan Shira and Associates. Available at: <http://www.asiabriefing.com/news/2013/10/bangladesh-china-india-myanmar-economic-corridor-builds-steam>
  27. Glovatska, S. (2018). *THE STRATEGIC INITIATIVE «THE BELT AND ROAD» AND IT'S MEANING FOR UKRAINE*. *Transport Development*, (2(3), 202-211.
  28. Hideo O. (2020). *The Belt and Road Initiative (BRI) in the context of China's opening-up policy*. – *Journal of contemporary East Asia studies*. 2018, 7, 2, 85–103.
  29. Ivana Casaburi. *Chinese Investment in Europe 2018-2019*. Available at: <http://itemsweb.esade.edu/research/esadegeo/ENGChineseInvestmentInEurope201516.pdf>
  30. Lei Y. (2020). *An international program on Silk Road Disaster Risk Reduction—a Belt and Road initiative (2016–2020)*. *Journal of Mountain Science J. Mt. Sci.* 15(7), 1383-1396.
  31. Nordin, A., Mikael, W. (2018). *Will Trump make China great again? The belt and road initiative and international order* *nternational Affairs*, 94(2), 231-249.
  32. *Ukrainian Institute for the Future*. Available at: <https://strategy.uifuture.org/> [in Ukrainian].
  33. Vieira, V.(2019). *From Third World Theory to Belt and Road Initiative: International Aid as a Chinese Foreign Policy Tool*. *Contexto Internacional*, 41, 3, 529-551.
  34. *Vision and Actions on Jointly Building Silk Road Economic Belt and 21st-Century Maritime Silk Road / National Development and Reform Commission (NDRC)*. *People's Republic of China*. Available at: [http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/201503/t20150330\\_669367.html](http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/201503/t20150330_669367.html)
  35. Yougang C. *Chinese infrastructure: The big picture*. Available at: <http://www.mckinsey.com/global-themes/winning-in-emerging-markets/chinese-infrastructure-the-big-picture>

**Сергій Миколайович Куліш,**

д. пед. н., доцент, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
професор кафедри фізичної географії та картографії, факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [kadry@karazin.ua](mailto:kadry@karazin.ua), <http://orcid.org/0000-0002-6222-7222>;

**Юлія Іванівна Прасул,**

к. геогр. н., доцент, завідувач кафедри фізичної географії та картографії,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
e-mail: [y.prasul@karazin.ua](mailto:y.prasul@karazin.ua), <http://orcid.org/0000-0003-3516-7882>

**НАУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОФЕСОРА АНДРІЯ КРАСНОВА  
ТА ЇЇ РОЛЬ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ГЕОГРАФІЇ**

У даній статті розглядається науково-педагогічна, експериментаторська, публіцистична, адміністративна, новаторська діяльність, а також аналізується наукова спадщина першого вітчизняного доктора географічних наук Андрія Миколайовича Краснова. Певну увагу приділено початковому етапу його життя, коли в студентські роки завдяки університетським лекціям, що їх читали тодішні світила науки, у нього зароджується інтерес до наукових досліджень, що не полишав його все життя. На основі вивчення стосунків А. М. Краснова з В. І. Вернадським зроблено висновок про його неординарний характер, вкорінене почуття самостійності, але й пристрастності, надмірної емоційності, поспішності, скороплинних висновків. Авторі дають узагальнену характеристику стану вивчення географії в університетах Російської імперії кінця XIX ст., тому що для А. М. Краснова невизначеність поняття цього предмету стала джерелом новацій у науково-педагогічному процесі. У статті йдеться про надзвичайну наукову сміливість А. М. Краснова, який уже у своїй докторській дисертації ревізував погляди відомих вчених щодо причин степової рівнинності. На підставі аналізу праць А. М. Краснова та наявної літератури, встановлено, що він став творцем конструктивної географії, поєднав теоретичні заняття з практикою на природі, організував студентські екскурсії, створив студентський географічний гурток. Крім того, маючи художній талант, він став одним з найкращих популяризаторів екзотичних регіонів, побувавши в десятках країн світу. Авторі простежують також причини, в силу яких до його наукових праць ставилися скептично, з недовірою. Фахівцям в області акліматизації буде цікаво познайомитись з матеріалом статті, в якому аналізується дійсно кипуча діяльність А. М. Краснова по створенню Ботанічного саду в Батумі.

**Ключові слова:** географія, ботаніка, флора, степи, рослинність, фізично-географічні фактори, субтропіки, Ботанічний сад, спадщина.

**С. Н. Куліш, Ю. И. Прасул. НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОФЕССОРА АНДРЕЯ КРАСНОВА И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОГРАФИИ.** В данной статье рассматривается научно-педагогическая, экспериментальная, публицистическая, административная, новаторская деятельность, а также анализируется научное наследие первого отечественного доктора географических наук Андрея Николаевича Краснова. Определенное внимание уделено начальному этапу его жизни, когда в студенческие годы благодаря университетским лекциям, которые читали тогдашние светила науки, у него зарождается интерес к научным исследованиям, что не покидал его всю жизнь. На основе изучения отношений А. Н. Краснова с В. И. Вернадским сделан вывод о его неординарном характере, укоренённом чувстве самостоятельности, но и страсти, чрезмерной эмоциональности, поспешности, скоропалительных выводов. Авторы дают обобщенную характеристику исследованиям в области географии в университетах Российской империи конца XIX века потому, что для Краснова неопределённость понятия этого предмета стала источником новаций в научно-педагогическом процессе. В статье говорится о чрезвычайной научной смелости А. Н. Краснова, который уже в своей докторской диссертации ревисовал взгляды известных ученых относительно причин степной равнинности. На основе анализа работ А. Н. Краснова и имеющейся литературы, установлено, что он стал творцом конструктивной географии, связал теоретические занятия с практикой на природе, организовал студенческие экскурсии, создал студенческий географический кружок. Кроме того, имея художественный талант, он стал одним из наилучших популяризаторов экзотических регионов, побывав в десятках стран мира. Авторы прослеживают также причины, в силу которых к его научным трудам относились скептически, с недоверием. Специалистам в области акклиматизации будет интересно познакомиться с материалом статьи, в котором анализируется действительно кипучая деятельность А. Н. Краснова по созданию Ботанического сада в Батуми.

**Ключевые слова:** география, ботаника, флора, степи, растительность, физико-географические факторы, субтропики, Ботанический сад, наследие.

**Вступ.** Дослідження життєвого та науково-педагогічного шляху професора географії Харківського імператорського університету А. М. Краснова продовжує викликати цікавість серед вчених насамперед через унікальність його особистості, різнобічності інтересів, що часто не збігалися між собою. Необхідно зазначити, що А. М. Краснов почав свою кар'єру географа в ситуації, коли ця наука не мала чітко визначених параметрів, вважалася додатковою до інших на-

ук. Для А. М. Краснова, що за складом характеру схилявся до креативних рішень і не полюбляв проторені іншими наукові шляхи, цей факт став додатковим стимулом до наукових пошуків. Саме невпинне бажання перетворити географію з набору абстрактних положень на практичну, необхідну для людства науку зробили А. М. Краснова «майстром на всі руки». Його цікавить антропологія, що в той час лише «ставала на ноги», геоботаніка, палеогеографія, походження чорно-

зему та степів, особливості ландшафтних областей земної кулі, нарешті, інтродукція культур чаю, цитрусових, інших культур – насамперед екзотичних. З іншої сторони, неможливо не відзначити, що деяка самовпевненість, недостатня скрупульозність щодо точності у своїх працях зашкодила його авторитету, він нажив і немало недоброзичливих рецензентів та критиків. У роботі, з використанням історичних та історіографічних джерел, зроблено спробу довести, що діяльність А. М. Краснова стала цінним внеском для людства на етапі сучасного зламу – закінчення XIX і початком XX ст. Саме це визначає її безумовну актуальність.

**Аналіз попередніх досліджень.** Життєвий та науково-педагогічний шлях А. М. Краснова (1862–1914) наповнений нескінченними пошуками, мандрівками ледь не по всіх континентах, відстоюванням своїх наукових поглядів, недоброзичливими рецензіями. Вивчення його спадщини у радянські часи було обмеженим тому, що його молодший брат Петро Краснов був генерал-майором царської армії, отаманом Всевеликого Війська Донського, визнаним діячем Білого руху, а в роки другої світової війни очолював козаці війська у складі гітлерівського вермахту. Водночас П. М. Краснов – і відомий письменник, у тому числі автор нарисів «Малоросіяни на Дону» і «Іногородні на Дону», що написані в романтично-піднесеному стилі. Саме з політичних причин праці Ф. М. Мількова [29], І. Г. Бейліна й В. А. Парнеса [3] деякий час знаходились у спецсховищах бібліотек СРСР. 30 жовтня 1982 р. на краєзнавчих читаннях у бібліотеці ім. В. Г. Короленка (м. Харків) доповідь про його діяльність зробила В. М. Дмитрієва. Російський дослідник І. В. Стебаєв наголосив на новаторських ідеях А. М. Краснова в галузі ботанічної географії [38].

У 2006 р. професор Воронежського університету Ф. М. Мільков звернув увагу на надзвичайно колоритний, художній стиль праць А. М. Краснова [30]. Кілька змістовних статей про наукову діяльність А. М. Краснова, вивчення ним екологічних умов існування флори, процесу розвитку ґрунтів та рослин у певних ландшафтах, належить перу професора Харківського університету І. Г. Черваньова [47, 48]. Зокрема, у статті 2014 р. І. Г. Черваньовим і З. К. Манвелідзе детально висвітлено наукове значення праць А. М. Краснова про його поїздки в інші країни, особливо тропічні, проаналізував його роботу з інтродукції чаю та інших культур на землях Колхиди [49]. В. А. Пересадько і К. В. Шпурік описали діяльність А. М. Краснова на фоні інших видатних учених Харківського університету, підкреслили його зусилля у сфері поєд-

нання географії з екологією, теорії з практикою. Вони показали, що в національному університеті імені В. Н. Каразіна (м. Харків) цінують і пам'ятають діяльність талановитого вченого, яким був А. М. Краснов [33].

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є аналіз наукової спадщини діяльності професора Імператорського Харківського університету проф. А. М. Краснова:

1. період його початкового становлення як майбутнього вченого під час навчання у Санкт-Петербурзькому університеті;

2. особливості його дружби та творчої співпраці з В. І. Вернадським;

3. зіставлення наукових робіт А. М. Краснова з працями інших вчених, що допомогло виявити оригінальність його концепцій та висновків;

4. наукову, селекційну, акліматизаційну та адміністративну діяльність А. М. Краснова під час створення ним Батумського Ботанічного саду.

**Матеріали та методи дослідження.** У статті використані аутентичні праці А. М. Краснова та його сучасників, опубліковані в кінці XIX – на початку XX ст., а також критичні рецензії на наукові й науково-популярні праці А. М. Краснова. Це дозволило шляхом компаративного аналізу виявити ті неузгодження в його роботах, які викликали гостру критику рецензентів.

**Наукова новизна й критичне значення.** У статті уточнено деякі подробиці особистих взаємовідносин А. М. Краснова з автором теорії ноосфери В. І. Вернадським, які в основному пояснювалися складним характером А. М. Краснова. З'ясовані ті причини, які призвели до ігнорування наукового здобутку А. М. Краснова сучасниками. Ці матеріали можуть бути використані, зокрема, при написанні повної науково-педагогічної біографії проф. А. М. Краснова.

**Виклад основного матеріалу.** Ще з гімназичних років (а в Першій Санкт-Петербурзькій гімназії А. Краснов тісно здружився з В. І. Вернадським, який у 1876 р. перейшов з Другої Харківської гімназії до Петербурзької), потім під час навчання у Санкт-Петербурзькому університеті його відзначала «цілеспрямованість, працездатність, пристрасність, харизматичність». Як пізніше згадував В. І. Вернадський, саме А. Краснов «був найяскравішим носієм того духу точного спостереження й любові до природи, яке потім захопило й В. Вернадського». Адже саме А. Краснов переконав його вступати саме до фізико-математичного, а не історико-філологічного факультету. До цього В. Вернадський захоплювався історією України, мріяв разом з друзями написати історію міста Володимир-



Волинський [8, с. 37–43]. Директор Батумської гімназії Г. Генкель пізніше небезпідставно писав, що А. М. Краснов мав характер, невгамовний до геніальності [9, с. 37].

В університеті А. Краснов слухав лекції з хімії Д. І. Менделєєва, з ботаніки – А. М. Бекетова, з ґрунтознавства – В. В. Докучаєва, із зоології – М. І. Вагнера, із фізіології – І. М. Сеченова. Ще на першому курсі підготував брошуру про різновиди комах [32]. Студентом брав участь у наукових експедиціях по Алтайському гірничому округу, збирав флору на півдні Томської губернії, допомагав В. В. Докучаєву при дослідженні ґрунтів у Нижньгородській та Полтавській губерніях, з професором І. В. Мушкетовим досліджував Прикаспійську напівпустелю. У 1884 р. за працю «О происхождении чернозема» одержав в університеті золоту медаль. Під час закордонного відрядження уже як «професорський кандидат» побував в Іспанії, Італії, Швейцарії, читав лекції у Франції та Німеччині, став дійсним членом Берлінського географічного товариства, у Лондоні був присутнім на засіданнях Міжнародного геологічного конгресу [34, с. 14–18].

18 березня 1889 р. А. М. Краснов захистив магістерську дисертацію на тему «Досвід історії розвитку флори південної частини східного Тянь-Шаню». Було багато опонентів (крім офіційних), диспут продовжувався 4 години. Потім недоброзичливці (а їх у А. Краснова було немало) постійно говорили лише про неточні цитати та друкарські помилки, а не про наукову цінність роботи [8, с. 19–22].

А. М. Краснов мріяв працювати у Ботанічному саду Харківського університету, який виріс на базі Аптекарьського городу, створеного у 1712 р. З 1823 р. він одержав статус науководослідного центру і став іменуватися Ботанічним. До середини XIX ст. там росло більше 1500 екземплярів дерев, квітів та чагарників. Але потрапити туди на роботу йому не вдалося. На його прохання проф. А. М. Бекетов намагався добитися, щоб А. Краснов зайняв кафедру ботаніки у Казанському університеті, однак у цьому теж було відмовлено. Тому залишалося одне: у статусі виконуючого обов'язки екстраординарного професора зайняти кафедру географії та антропогеографії Харківського університету [14, с. 126, 131–132].

16 вересня 1889 р. А. М. Краснов провів першу вступну лекцію, у якій підкреслив, що географія як наука переживала зародковий період. Розповів про наукові гіпотези, які показували зв'язок живої і неживої природи, про спроби широких обґрунтувань та узагальнень. Тому що в ньому ніколи не зникав ботанік, нагадав: ботаніка є галуззю географії. Не забуваючи, що Хар-

ків – частина України, зауважив: у багатотомному виданні Е. Реклю «Загальна географія» дуже мало відомостей про Малоросію [16].

До 1835 р. кафедри географії існували на історико-філологічних факультетах університетів, а на фізико-математичних факультетах вивчали фізичну географію. На початку 60-х років з'явилися ідеї створити кафедру «географії та етногеографії», «статистики та географії», однак не на історико-філологічних факультетах. Чинники Міністерства народної освіти вважали: треба від вступників до університетів перевіряти знання географії і не включати цей предмет до навчальних планів, замінивши «чим-небудь більш корисним». Інші діячі освіти запевняли, що політична географія на історико-філологічних факультетах непотрібна, тому що її вивчали у гімназіях. Вчена рада університету Св. Володимира не бачила необхідності створення кафедри географії, але вважала цілком можливим доручити вести такі заняття одному з доцентів фізико-математичного факультету. Згідно Статуту від 23 серпня 1884 р., було поєднано кафедри фізичної географії та кафедри фізики, а на історико-філологічних факультетах передбачені кафедри географії та етнографії [31, с. 63–66]. Але в університетах це положення протрималося недовго, і кожний з них за рішенням Вченої ради створював кафедри географії з різними назвами.

Член-кореспондент Російського географічного товариства Г. Герланд вважав, що географія «наука» з самими обмеженими кордонами. Вона «досліджує взаємодію сил, пов'язаних з матерією землі, створення і видозміну, а також розвиток матерії землі, як результат цих сил» – «гігантське завдання». Географія – не спеціальний відділ астрофізики, як її недавно називали; землезнавство й географія – терміни, однакові за змістом. До кінця 80-х рр. XIX ст., на думку Г. Герланда, ні природничо-науково-статистично-історична географія, ні антропогеографія не надали людству ніяких практичних результатів. Значить, резюмував він, географія – лише допоміжна наука для геології, в багатьох випадках – і для астрономії, історії, політичної економії [10, с. 4–8, 20].

Професор Московського університету Д. М. Анучин (став доктором географічних наук у 1889 р., але без захисту дисертації) відзначав: навіть на початку 90-х рр. не існувало оригінальної ґрунтовної праці з географії Росії, а книги Е. Реклю безнадійно застаріли, відсутній журнал географічного профілю [1, с. 8].

У гімназіях вивчалася математична географія, у змісті якої було багато астрономічних понять, та географія фізична: характеристика флори та фауни, поверхня земної кулі, дія на неї со-

нця й тепла. Головним для учнів вважалося вміння орієнтуватися по географічних картах [15, с. 11; 5, с. III–IV].

Навіть у 1915 р. відомий статистик і географ В. П. Семенов – Тянь-Шанський був вимушений підкреслити: географія – не прикладна енциклопедія природничих і деяких гуманітарних наук, а самостійна наукова дисципліна. Вона вивчає вічні закони просторових взаємовідносин життя Землі – від гірських порід до життя людини [36, с. 476]. Аналогічний висновок у цьому ж році дав майбутній академік Л. С. Берг як історик географічної науки. Він також заявив, що географія – наука, яка насамперед вивчає ландшафти [4, с. 469]. Що стосувалося наукового визначення предмету й завдань географії, цілком допускалися досить значні розходження [5, с. 16].

Але така невизначеність не турбувала молодого вченого, навпаки, стимулювала його кипучу енергію. У листопаді 1889 р. професор хімії І. П. Осипов у бесіді з А. М. Красновим упевнився, що останній знаходився «в самому доброму настрої: праця ішла до ладу, у чвари та контри ще ні з ким не вступав, багато надій, немало й віри в себе» [8, с. 266].

9 квітня 1894 р. у математичній аудиторії Московського університету відбувся захист докторської дисертації А. М. Краснова на тему «Трав'янисті степи північної півкулі» [17]. Він детально описав степові ландшафти Росії, України, Кавказу, Західної Європи, Середньої Азії, США. На його думку, флора степів досить давня, для неї характерна рівнинність, велике значення мали вплив вологості, температури. Диспут продовжувався 4 години. Опонент проф. Д. М. Анучин вказав дисертанту на відсутність аналізу історії проблеми, неточність у визначенні поняття «степ», не погодився з тим, що рівнинність – головний степовий фактор. Проф. А. П. Павлов зауважив, що більш важливий фактор в існуванні степів – не рівнинність, а кліматичні умови. Проф. І. М. Горожанкін в основному звернув увагу на неточність списку степових рослин, різні назви однієї й тієї ж праці та інші дрібні дефекти. Для проф. К. А. Тимірязєва неприйнятною виявилась точка зору А. М. Краснова щодо причин безлісності степу – через надлишок вологи. Проте критичні зауваження під час дискусії лише сприяли здобувачеві. Він отримав учений ступінь доктора географії [12, с. 143, 149, 155–160].

У кінці XIX ст. серед учених не було єдиної думки щодо основних факторів, які спричинили появу степів (в Австралії та Африці – саван, у Південній Америці – пампасів (льянос), у Північній Америці – прерій, у Новій Зеландії – туссоків). Одні захищали антропогенну теорію похо-

дження степів, особливо під впливом синтронізації (знищення трави тваринами). Інші підкреслювали, що поява на материках аридних (сухих) і гумідних (вологих) зон залежала від місця їхнього розташування – в центрі материка чи поблизу від морів. Як писав у 1902 р. приват-доцент Харківського університету В. І. Талієв (майбутній автор першого проекту щодо захисту природи в Україні), прямих доказів, що степи завжди були безлісні, не існувало [39, с. 45–46].

Дружина А. М. Краснова Анастасія Миколаївна (дівоче прізвище – Родакова) писала В. І. Вернадському: саме В. І. Талієв був палким шанувальником її чоловіка. Сам А. Краснов був з ним мало знайомим і навіть не вважав, що В. Талієв прихильний до нього [8, с. 45]. В. І. Талієв небезпідставно стверджував, що А. М. Краснов дослідив історію створення сучасної флори на базі давньої палеоарктичної рослинності (поняття «флора» й «рослинність» тоді вважалися синонімами – Автор). В його дослідженнях простежується думка про тісний зв'язок між життям ґрунтоутворної породи та її рослинністю. На відміну від представників школи ґрунтознавців, А. Краснов вірив, що перетворення боліт на степи можливе [40, с. 54–55, 64]. Значимо: на початку XX ст. в журналі «Естествознание и география» В. І. Талієв і приват-доцент Санкт-Петербурзького університету Г. І. Танфільєв вели гостру полеміку, не зійшовшись, наприклад, у поясненні причини відсутності лісів у степах [39, 43, 46], хоча їхні погляди не були діаметрально різними.

У Харківському університеті А. М. Краснов створив географічний кабінет, студентський географічний гурток (його довелося організувати двічі – у 1890 р. та у 1900 р.) [41], а при міському музеї Харкова – географічний відділ. Викладав географію Росії, антропологію, географічні частини світу та географію окремих країн, вів лекції на лоні природи, у Харківському ветеринарному інституті він викладав ботаніку, читав лекції і в жіночих навчальних закладах. Став творцем конструктивної географії, увів курс загального землезнавства, в якому поставив завдання: «... пов'язати висновки астрономії, астрофізики, геології, які стосуються земної кулі, вивести з них як наслідок сучасні клімати, розподіл явищ динамічної геології, ґрунтів, тварин і людських племен». Підготував перший вітчизняний підручник із загального землезнавства, що вийшов трьома виданнями, дав районування світу, виділивши 10 зон і 5 ландшафтних областей, схарактеризував вплив природних факторів на рослинність. Мав рацію В. В. Докучаєв, коли стверджував, що «за глибиною, широтою і цілісністю постановки геоботанічних питань, за ерудицією, та-

лановитістю... у Краснова немає суперників у Росії. Якщо додати до цього чудовий ораторський талант Краснова, таке надзвичайне бажання самому все бачити й досліджувати... констатувати, що молодий Краснов стане окрасою будь-якої кафедри геоботаніки й географії в Росії» [13].

Ще під час досліджень у Нижньогородській губернії в середині 80-х рр. А. М. Краснов претендував на використання геоботаніки для практичних цілей. Починаючи з А. Гумбольдта, структура, склад рослинності і флори вчені вважали залежними насамперед від клімату – найважливішого із фізико-географічних факторів. Але А. М. Краснов у лекціях з фітогеографії перемістив увагу від клімату до ґрунту, від проблем флористики – до вивчення рослинності [51, с. 73–75], став, повторимо, творцем конструктивної географії.

Ставши професором, А. М. Краснов нарешті здійснив свою студентську мрію і побував у багатьох країнах світу: Японія, Китай, Індія, острів Ява, Цейлон, Сполучені Штати Америки, Єгипет, Норвегія, Туреччина, Італія. Його розповіді про ці подорожі надзвичайно колоритні, художньо майже бездоганні, він дійсно, як писав В. І. Вернадський, учений, що володів даром художнього таланту. Праці про екзотичні, далекі країни публікували багато журналів російської імперії, тому А. М. Краснов став найкращим популяризатором далеких країв, їхньої природи, населення [18, 19, 20, 21, 22].

Але чому ж А. М. Краснова у листі до В. І. Вернадського від 20 жовтня 1926 р. писала, що оцінка діяльності її чоловіка «образлива для його пам'яті»? [8, с. 47]. З іншої сторони, що примусило В. І. Вернадського під час зустрічі з А. М. Красновим у вересні 1888 р. в Лондоні на 5 сесії Міжнародного геологічного конгресу говорити, що той «дратував незв'язністю і необдуманістю тверджень»? Лише тому, що він випередив А. М. Краснова як науковець, особистість? [11, с. 75]. Але ж і В. І. Талієв – сучасник А. М. Краснова – писав, що його праці не мали поваги, а до його діяльності ставилися іронічно [40, с. 64]. В його публікаціях було багато друкарських помилок, ляпсусів, неточних або неоговорених цитат – звідси недовіра до праць. Крім того, А. М. Краснов був надзвичайно неухважним, надто спішив, тому допускав неточності, занадто довіряв своїй пам'яті. Крім того, в редакціях з величезними труднощами буквально розшифрували його почерк, що нагадував ієрогліфи [41, с. 50]. За кілька місяців до смерті А. М. Краснова, його прихильник В. І. Талієв ще раз підкреслив його талановитість, благородство, водночас додавши, що його «прекрасні сторони ... залишилися неоціненими, частково в силу деяких

індивідуальних дефектів праць Андрія Миколайовича, а головним чином, через нерозуміння та невміння оцінити своє з боку російського суспільства...», розкиданість і несхильність до розробки», значною мірою була пов'язана зі станом російської науки й суспільства [8, с. 369].

А. М. Краснов працював творчо, шукав самотійних шляхів, а не копіював попередників, не схилявся перед авторитетами, тому нажив немало ворогів. Були й заздрісники, адже він знав чотири європейські мови. Вільно читав латинські та грецькі тексти, надрукував більше 300 статей. Хоча дві його антропологічні статті [23; 24] виявилися невдалими, але ж лише на думку рецензентів. Сам А. М. Краснов визнавав, що його дослідження уривчасті, він зміг проаналізувати лише колір волосся, очей і форму голови [23, с. 2]. При дослідженні антропологічних особливостей рекрутів у двох повітах Харківщини на кожного з них припадало по кілька хвилин [24, с. 1]. Зауважимо, що А. М. Краснов був дещо самовпевненим, коли в листі до В. І. Вернадського зауважив: «Методи антропології географа не потрібні, як не потрібні йому методи фізіології або систематика рослин» [14, с. 122]. Необхідно додати, що в кінці XIX ст. – на початку XX ст. стан справ у антропологічній науці Російської імперії характеризувався гарячими дебатами й неузгодженням поглядів [7].

Критичні погляди щодо праць А. М. Краснова притаманні В. І. Липському (протягом 1894–1917 рр. був науковим співробітником Головного ботанічного саду Санкт-Петербурга, у 1922 – 1928 рр. – президентом Української національної академії наук). Так, аналізуючи статтю «Новые виды Сванетской флоры» (влітку 1890 р. А. М. Краснов організував студентську експедицію до Сванетії для вивчення флори), В. І. Липський стверджує, що автор лише поверхово ознайомлений з флорою Кавказу, описи рослин начебто безграмотні, у праці відсутній науковий метод. Рецензуючи докторську дисертацію А. М. Краснова, він знову обвинувачує автора у слабкому знанні флори, відкидає взагалі її наукову цінність. Така упередженість зовсім не співпадає з тими оцінками, які дали дисертації опоненти. Висновок В. І. Липського щодо праць А. М. Краснова «це «чорновики», яких без будь-якої втрати для науки автор міг не показувати. У нього немає абсолютно ніякої строгої наукової підготовки» не витримує критики. В. І. Липському навіть не сподобався метод А. М. Краснова по залученню студентів до наукової роботи. Україн негативно він ставився і до художньо захоплюючого стилю праць А. М. Краснова, іменуючи їх «*miserrima opera*» (жалюгідними працями). Аналогічно про одну з робіт професора Юр'ївського

університету М. І. Кузнецова він висловився таким чином: його висновки необґрунтовані й навіть парадоксальні [27, с. 46–49]. Але пізніше В. І. Липський більш об'єктивно висловився щодо підручника А. М. Краснова «География растений», поставивши його за науковою новизною вище аналогічної роботи проф. А. М. Бекетова [45, с. 47]. Однак коли у 1915 р. Товариство шанувальників природи у Харкові планувало перевидати її, попередньо було вирішено ретельно її відредагувати, надати необхідні примітки, тому що в тексті було багато помилок і неточностей [40, с. 68].

Фактичні й коректурні помилки, багато запитань з робіт інших авторів, помилки в іноземних словах і прізвиськах, неточності існували і в «Лекциях по ботанике...» 1910 р. та «Лекциях по физической географии» 1910 р. [53, с. 73–74; 50, с. 78–79].

Давньою мрією А. М. Краснова була ідея акліматизації екзотичних рослин азійських країн, особливо з Японії та Китаю. Влітку 1896 р. він висадив в університетському саду насіння кількох рослин з цих країн – в основному бобових і гарбузових, але дещо запізно – лише 1 червня. Незважаючи на морози 29 серпня, виросла китайська кліщевина (сімейство молочайних) – до 30 см у висоту (з її насіння роблять касторове масло), встигла зацвісти соя. Визріли дуже солодкі, хоча невеликого розміру, дині, огірки досягли довжини до 35 см [36, с. 80–81]. Потім на території Харківського ветеринарного інституту у 1899 – 1900 рр. він створив невеликий ботаніко-географічний сад, але для його подальшого розвитку не було виділено потрібних коштів, даремно він у 1907 р. випустив спеціальний «Путеводитель по ботаническому саду и оранжерее Харьковского ветеринарного института». Будучи за темпераментом, повторимо, особою «широкою, невгамовною до геніальності», А. М. Краснов розчарувався у викладацькій роботі в провінції, якою вважав Харків. Його дратувала байдужість значної частини студентів до його лекцій з географії та ботаніки, редакторство в газеті «Южный край», почав турбувати й стан здоров'я. Хоча Андрій Миколайович до кінця життя залишався консультантом Головного управління землеробства і землевпорядкування Російської імперії. Вперше побувавши у 1892 р. в Батумі, він почав виношувати думку про перетворення цього краю на курорт, кращий Ментони чи Ніцци [9, с. 37, 41, 44].

У 1899 р. на Міжнародному географічному конгресі в Берліні А. М. Краснов виступив з доповіддю «Місце Колхиди у вологих субтропічних областях земної кулі». На цей час він уже на придбаній ним ділянці землі в 11 га у Хості Со-

чинської округи вирощував чай, мандарини, хурму, будівельний бамбук, батат, тунг, японські сливи, лакове, воскове і паперове дерева, ямс. Але у зв'язку з морозами, небезпекою малярії, хворобою дочки Віри, землю у 1904 р. довелося продати [52].

А. М. Краснов безпідставно запевняв: клімат Батумського узбережжя взимку на 2° тепліший, а влітку на 2° холодніший, ніж місця з такою ж середньою температурою в Японії. Тут краще розвиваються субтропічні рослини, адже максимальний мороз в Аджарії – 6,6°, тоді як у Японії морозна погода – звичайне явище [25, с. 486].

У серпні 1909 р. А. М. Краснов упевнився, що саме на Батумському узбережжі можна створити Ботанічний сад із субтропічними рослинами. Тим більше, що висаджені ним раніше вічнозелені дуби з крайнього півдня Японії, італійські сосни, камфорний лавр, магнолії з північної Америки, азалії і олеандри там прижилися. Він вірить, що за кілька років у Батумському краю буде буйати ліс із бамбуку та евкаліптів [35].

У квітні 1911 р. А. М. Краснов, виступаючи на засіданні Ради Батумського товариства сільського господарства, виклав свій план створення Ботанічного саду. У травні 1912 р. він полишає Харківський університет і переїздить до Аджарії, поселяючись на дачі Зеленого мису – поблизу Батумі. Він добре пам'ятав свою характеристику Чорноморського узбережжя Кавказу: «...місцевість напівдику, мало культурну, мало продуктивну, занедбану», щодо якої існували «найбільш безнадійні погляди». Але і в 1896 р. А. М. Краснов вірив, що через 25 років плантації чаю тут стануть таким же звичайним явищем, як у Японії чи на Гімалаях [26, с. 903, 916].

У жовтні 1912 р. для створення ботаніко-географічного, ландшафтного, акліматизаційного саду було виділено більше 71 га землі колишнього Чаквинського удільного маєтку, що знаходився поблизу морського узбережжя. У колишньому журналі «Батумский сельский хозяин», який А. М. Краснов перейменував на «Русские субтропики» (у Петрограді в 1915 р. виходив журнал «Русская Ривьера») він виклав свій детальний план формування Ботанічного саду. Там повинні існувати шість ботаніко-географічних відділів: Америки, Японії і Далекого Сходу, Гімалайів та тропічних гір, Чилі, Австралії та Нової Зеландії. Він вважав, що необхідно насамперед орієнтуватися не на субтропічні фруктові дерева, а на горіхові, а також ті, що дають цінне волокно, листя, деревину. Пропонував перенести ті рослини, що росли у Ботанічних садах Флориди, Оукленду, Мельбурну: бамбук, хінне дерево, банан, цінні хвойні породи, до 20 сортів пальм, а

також технічні рослини. Потрібно буде акліматизувати новозеландський льон (мав 60 сортів), бавовну, пекан (замість горіхового дерева), австралійську дубильну акацію, камфорний лавр та ін. [2, с. 342–345].

Місцевість, виділену для саду, довелося суттєво поліпшувати: вирубували дерева, розчищали поляни, відводили воду, прокладали дороги – і все це під нескінченні дощі. А. М. Краснов мріяв провести до саду залізничну колію, побудувати величезний готель, мати в розпорядженні дирекції екіпажі, запряжені мулами, кіньми, ослами, екіпажі японських рикш. На території саду розраховував поселити місцевих жителів [9, с. 40 – 41].

Офіційно Ботанічний сад було відкрито 3 листопада 1912 р. Під час Першої світової війни сад у 1914 р. було знищено, залишилися лише вали і рови; після повернення з Парижу, де А. М. Краснов лікував хвору ногу, він переїхав разом із дружиною та дочкою до Тифлісу. Там викладав на Вищих жіночих курсах, де його запам'ятали як «надзвичайно чуйного, сердечно вразливого і делікатного» професора [9, с. 43]. Помер Андрій Миколайович 19 грудня 1914 р., похований, згідно заповіту, у створеному ним саду на місці, яке вибрав сам. У 1982 р. йому було зведено бронзовий пам'ятник. Його вдова Анастасія Миколаївна у 20-х рр. ледь виживала на пенсію у 30 руб. щомісячно, тому була вимушена працювати в бібліотеці Харківського технологічного інституту. Через це їй постійно загрожували відібрати пенсію. Е. Г. Клевезаль (знайома Краснових) 15 лютого 1926 р. звернулася із проханням до В. І. Вернадського допомогти вдові його друга. Завдяки клопотанню В. І. Вернадського А. М. Краснова стала одержувати 44 руб. 44 коп., але не 60 руб., як прохав академік [8, с. 28–29, 45–47].

**Висновки.** Історія людства знає не поодинокі випадки, коли справжній здобуток, цінність діяльності тієї чи іншої особи стає пошанованою лише після її смерті. Причини для такого ставлення можуть бути різні, а в науковому світі, де зіштовхуються наукові позиції, амбіції, впертість, небажання визнати правоту опонента, заздрість, вони тим більш можливі. Саме так трапилося з професором Харківського імператорського університету А. М. Красновим, який за роки наукової та педагогічної, адміністративної праці опублікував біля 300 наукових та науково-популярних праць. До того ж немала частина з них носить новаторський характер. За період викладацької роботи у Харківському університеті, якому він присвятив більше 20 років, йому вдалося кардинально змінити схоластичність вивчення географії, організувавши практичні заняття поза аудиторією, провівши кілька студентських експедицій, у тому числі – на Кавказ. Але, як він зізнавався, буденність праці у провінційному місті, яким він вважав Харків (добре відомо, що він намагався знайти місце у С.-Петербурзі), не задовольняла його невгамовну натуру. Саме тому в результаті своїх численних поїздок до екзотичних країн А. М. Краснов і дійшов думки щодо реалізації тієї мрії, яку не вдалося здійснити на території Харківського ветеринарного інституту: створити ботаніко-географічний, ландшафтний, акліматизаційний склад. Безумовно, без його завзятості, послідовної наполегливості, авторитету Батумський Ботанічний сад у листопаді 1912 р. не міг постати. Тому в сучасній Грузії пам'ятають і глибоко шанують його пам'ять. Навіть після смерті А. М. Краснов нагадав про себе, коли у 1915 р. вийшла його брошура «Южная Колхида» – його «лебедина пісня» [28]. У відновленому Батумському Ботанічному саду збереглася частина посаджених ним дерев.

#### **Література**

1. Ануцин, Д. Н. *Несколько слов о развитии русского землеведения и задачах географического кружка в Москве [Текст] / Д. Н. Ануцин // Землеведение. – 1894. – Т. I. – С. 1–16.*
2. *Батумский ботанический сад и его задачи. Вступительная речь проф. А. Н. Краснова [Текст] // Русские субтропики. – 1912. – № 7. – С. 339–346.*
3. Бейлин, И. Г. А. Н. Краснов [Текст] / И. Г. Бейлин, В. А. Парнес. – М. : Наука, 1968. – 260 с.
4. Берг, Л. С. *Предмет и задачи географии [Текст] / Л. С. Берг // Известия Императорского Русского географического общества. – 1915. – Т. II. – С. 463–475.*
5. Борзов, А. А. *Вопросы преподавания географии в работах Московской географо-педагогической комиссии [Текст] / А. А. Борзов // Труды съезда преподавателей географии, происходившего в Москве в 1915 году с 26-го по 29-ое марта. – Вып. первый. – М., 1916. – С. 11–23.*
6. Брызгалов, А. *География : Курс первый [Текст] / А. Брызгалов. – 2-е изд., значит. исправл. – М. : изд-во братьев Салаевых, 1873. – 96 с.*
7. Бунак, В. В. *Происхождение и этническая история русского народа [Текст] / В. В. Бунак. – М. : Рипол Классик, 2013. – 422 с.*
8. В. І. Вернадський і Україна: з листування [Текст]. Кн. 2: К – Я. Офіційне. Родинне / НАН України. – К., 2019. – 1040 с.

9. Генкель, Г. Проф. Андрей Николаевич Краснов [Текст] / Г. Генкель // *Естествознание и география*. – 1915. – Январь. – С. 36–45.
10. Герланд, Г. Задачи и разделы географии [Текст] / Г. Герланд ; под. ред. И. В. Мушкетова. СПб. : тип. А. С. Суворина, 1888. – 70 с.
11. Даниленко, В. В. І. Вернадський. Простір життя і думки [Текст] / В. Даниленко. – К. : Академперіодика, 2019. – 352 с.
12. Диспут проф. А. Н. Краснова на степень доктора географии [Текст] // *Землеведение*. – 1894. – Т. I. – С. 141–164.
13. Історія кафедри – Андрій Миколайович Краснов [Електронний ресурс] / Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – Режим доступу : URL : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/about/histori/krasnov/>. – 23.02.2020 р. – Загол. з екрану.
14. Из переписки А. Н. Краснова. Письма А. Н. Краснова к В. И. Вернадскому [Текст] // Профессор Андрей Николаевич Краснов (1862–1914 гг.). Харьков : тип. М.Х. Сергеева, 1916. – С. 114–132.
15. Ковальський, Я. І. Географія [Текст] / Я. І. Ковальський. – СПб., 1875. – 138 с.
16. Краснов, А. Н. География как новая университетская наука [Текст] / А. Н. Краснов // *Журнал Министерства народного просвещения*. – 1890. – Ч. 267. – С. 233–244.
17. Краснов, А. Н. Травяные степи северного полушария [Текст] / А. Н. Краснов. – М. : Скоропечатня А. А. Левлиса, 1893. – 294 с.
18. Краснов, А. Н. Из путевых впечатлений [Текст] / А. Н. Краснов // *Исторический вестник*. – 1895. – Январь. – С. 190–230.
19. Краснов, А. Н. Русские тропики [Текст] / А. Н. Краснов // *Исторический вестник*. – 1895. – Февраль. – С. 536–570.
20. Краснов, А. Н. Из поездки на Дальний восток Азии. Растительность горных вершин Явы [Текст] / А. Н. Краснов // *Землеведение*. – 1894. – Т. II. – С. 59–88.
21. Краснов, А. Н. Растительность Японии и Сахалина [Текст] / А. Н. Краснов // *Землеведение*. – 1894. – Т. III. – С. 10–30.
22. Краснов, А. Н. Под тропиками [Текст] / А. Н. Краснов // *Книжки недели*. – СПб, 1894. – Март. – С. 109–135. Продовження друкувалося у наступних номерах журналів за квітень і травень 1894 р.
23. Краснов, А. Н. Материалы для антропологии русского народа [Текст] / А. Н. Краснов. – М. : Типо-литография А. В. Васильева и Ко, 1902. – 17 с.
24. Краснов, А. Н. Об антропологических исследованиях и измерениях в Харьковском и Валковском уездах [Текст] / А. Н. Краснов. – М. : Типо-литография А. В. Васильева, 1900. – 11 с.
25. Краснов, А. Н. Япония как главнейший источник заимствования из стран Дальнего Востока [Текст] / А. Н. Краснов // *Русские субтропики*. – 1912. – № 9. – С. 484–491.
26. Краснов, А. Н. Дальний Восток Азии, характерные черты его природы и значение его культур для Закавказья [Текст] / А. Н. Краснов // *Естествознание и география*. – 1896. – Т. II. – С. 903–918.
27. Липский, В. И. Флора Кавказа. Свод сведений о флоре Кавказа за двухсотлетний период ее исследования, начиная от Туркефора и кончая XIX в. [Текст] / В. И. Липский. – СПб. : Типо-литография «Геральда», 1899. – 584 с.
28. Ляйстер, А. Рецензия на труд А. Н. Краснова «Южная Колхида» [Текст] / А. Ляйстер // *Известия Кавказского отдела Императорского Русского географического общества*. – 1915. – Т. XXIII, № 3. – С. 317–318.
29. Мильков, Ф. Н. Краснов – географ и путешественник [Текст] / Ф. Н. Мильков. – М. : География, 1955. – 176 с.
30. Мильков, Ф. Н. География и художественная литература: границы взаимопроникновения [Текст] / Ф. Н. Мильков // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: география, геоэкология*. – 2006. – № 2. – С. 121–124.
31. Михалевич, В. Из прошлого преподавания географии в наших университетах (Историческая справка) [Текст] / В. Михалевич // *Естествознание и география*. – 1900. – Февраль. – С. 63–67.
32. Очерк жизни сорока обыкновеннейших насекомых из всех отрядов [Текст] / А. Краснов ; под ред. Н. Л. Решетина. – СПб. : С-Петербургская мастерская учебных пособий и игр, 1881. – 55 с.
33. Пересадыко, В. А. Профессор Харьковского университета Андрей Николаевич Краснов в сонме выдающихся отечественных естествоиспытателей: к 100-летию со дня кончины [Текст] / В. А. Пересадыко, Е. В. Шпурик // *Bulletin of Batumi Botanical Garden. To the Memori of professor Andrei Krasnov (1862–1914)*. – Batumi, 2014. – С. 91–95.
34. Краснов П. К. (Платон Краснов – брат А. М. Краснова – Автор). Андрей Николаевич Краснов (материалы для биографии) [Текст] / П. К. Краснов // *Профессор Андрей Николаевич Краснов (1862–1914 гг.)*. – Харьков, 1916. С. 5–36.
35. Рябова, В. И. Краснов Андрей Николаевич [Электронный ресурс] / В. И. Рябова. – Режим доступа : URL : [https://biblioclub.ru/index.php?page=author\\_red&id=26569](https://biblioclub.ru/index.php?page=author_red&id=26569). – 14.10.2019 г. – Загл. с экрана.
36. Семенов-Тянь-Шанский, П. П. Что такое география? [Текст] / П. П. Семенов-Тянь-Шанский // *Известия Императорского Русского географического общества*, 1915. – Т. L. – С. 476–479.
37. *Естествознание и география*. – 1897. – Август. – С. 80–92.

38. Стебаев, И. В. Ученики В. В. Докучаева – А. Н. Краснов и В. И. Вернадский: генезис нового научного мировоззрения [Текст] / И. В. Стебаев // Классическое естествознание и современная наука. – Новосибирск : изд-во НГУ, 1991. – С. 13–28.
39. Талиев, В. И. Были ли наши степи всегда безлесными? [Текст] / В. И. Талиев // Естествознание и география. – 1902. – май. – С. 33–46.
40. Талиев, В. И. Ботанико-географические работы А. Н. Краснова [Текст] / В. И. Талиев // Профессор Андрей Николаевич Краснов (1862–1914 гг.). – Харьков, 1916. – С. 52–70.
41. Талиев, В. И. Профессор А.Н. Краснов как ученый [Текст] / В. И. Талиев // Профессор Андрей Николаевич Краснов (1862–1914 гг.) / под ред. В. И. Талиева. – Харьков, 1916. – С. 37–51.
42. Талиев, В. И. Неотложные задачи ботанической географии [Текст] / В. И. Талиев // Естествознание и география. – 1902. – Октябрь. – С. 54–62.
43. Талиев, В. И. Очерки текущей ботанической литературы. IV. Возрождение Г. Танфильева [Текст] / В. И. Талиев // Естествознание и география. – 1901. – Октябрь. – С. 33–48.
44. Талиев, В. И. Новый географический кружок [Текст] / В. И. Талиев // Естествознание и география. – 1900. – Апрель. – С. 93–98.
45. Талиев, В. И. Очерки текущей ботанической литературы [Текст] / В. И. Талиев // Естествознание и география. – 1902. – № 4. – С. 45–59.
46. Танфильев, Г. И. К вопросу о безлесии степей (ответ В. И. Талиеву) [Текст] / Г. И. Танфильев // Естествознание и география. – 1901. – Май. – С. 62–71.
47. Черваньов, І. Г. Професор Андрій Миколайович Краснов у сонмі географів–земляків та в історії вітчизняної географії (до 150-річчя від дня народження) [Текст] / І. Г. Черваньов // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії : зб. наук. пр. / Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – Харків, 2012. – Вип. 15. – С. 3–7.
48. Черванёв, И. Г. А. Н. Краснов [Электронный ресурс] / И. Г. Черванёв. – Режим доступа : URL: <https://web.archive.org/web/20120208103808/http://geography.in.ua/read-article.php?article.id=1>. – 18.06.2016 г. – Загл. с экрана.
49. Черванёв, И. Г. Выдающийся профессор Императорского Харьковского университета и создатель Батумского Ботанического сада: мемориальная статья к 100-летию со дня кончины [Текст] / И. Г. Черванёв, З. К. Манвейдзе // Bulletin of Batumi Botanical Garden. To the Memory of Professor Andrei Krasnov (1862–1914). – Batumi, 2014. – С. 86–90.
50. Чепурковский, Е. Рецензия на «Лекции по физической географии» [Текст] / Е. Чепурковский // Естествознание и география. – 1911. – Май. – С. 77–80.
51. Федотова, А. А. Ботаника в Нижегородской экспедиции В. В. Докучаева: «старые» территории, новые задачи [Текст] / А. А. Федотова // Studies in the History of Biology. – 2010. – Vol. 2, № 4. – С. 66–83.
52. Федоровский, Г. А. Научный подвиг профессора Краснова [Электронный ресурс] / Г. А. Федоровский. – Режим доступа : URL: <http://www.sochiru.com/item/3035>. – 12.04.2019 г. – Загл. с экрана.
53. Н. М. Рецензия на «Лекции по ботанике для студентов ветеринарных институтов...» 1910 г. // Естествознание и география. – 1910. – № 10. – С. 72–74.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 378.4.091.12.011.3–051:55:929Краснов](477.54–25)

**Serhiy Kulish,**

Doctor of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [hr\\_service@karazin.ua](mailto:hr_service@karazin.ua), <http://orcid.org/0000-0003-1042-431X>;

**Yuliya Prasul,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Head of the Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [y.prasul@karazin.ua](mailto:y.prasul@karazin.ua), <http://orcid.org/0000-0003-3516-7882>

#### SCIENTIFIC ACTIVITY OF PROFESSOR ANDRIY KRASNOV AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF MODERN GEOGRAPHY

**Purpose.** Life, scientific and pedagogical way of A. M. Krasnov at the time of the formation of geography was unique, versatile, often contradictory, but clearly creative and innovative approach to everything that

was within his interests. Despite some hasty results that harmed his general authority, the figure of A. M. Krasnov – the professor of Imperial Kharkiv University, the founder of Batumi Botanical Garden – is still of interest. Attention has been paid to the period of his initial formation as a scientist, communication with V. I. Vernadsky, comparison of A. M. Krasnov's works with works of other researchers, the implementation of the idea of plant introduction.

**Method.** Authentic scientific works of A. M. Krasnov and his contemporaries have been used in the work. Through the use of historical and historiographical sources and comparative analysis there have been revealed those inconsistencies in his works which caused sharp criticism of reviewers.

**Results.** Studies of the work of the first domestic doctor of geographical sciences Andriy Mykolayovych Krasnov have showed his passion for expeditionary research, charisma, thirst for knowledge, love of nature, rich innovative heritage. Attention has been paid to the initial stage of his life, when the interest in scientific, in particular, expeditionary research, which did not leave him during his life, emerged. Based on the study of the relationship between A. M. Krasnov and V. I. Vernadsky, a conclusion about his extraordinary character, ingrained sense of independence, but also passion, excessive emotionality, haste of conclusions has been made. The authors have given the generalized description of the state of the study of geography, which was considered an auxiliary science in the universities of the Russian Empire in the late XIX century, because for A. M. Krasnov it became a source of innovation. The article reveals the extraordinary scientific courage of A. M. Krasnov, who in his doctoral thesis considered the views of famous scientists on the causes of steppe plains. The analysis of A. M. Krasnov's publications and other sources has proved that he became the creator of constructive geography, combined theoretical classes with practical ones in nature, initiated student scientific expeditions, founded a student geographical society and a geographical office. Possessing artistic and literary talent, he became one of the best promoters of exotic regions, visiting dozens of countries around the world. The authors have also traced the reasons why his scientific works were treated with skepticism and distrust.

**Scientific novelty and practical significance.** Some details of the relationship between A. M. Krasnov and V. I. Vernadsky have been clarified. The reasons that led to the ignoring of the scientific achievement of A. M. Krasnov by contemporaries have been revealed. It is expedient to use these materials while writing the full scientific and pedagogical biography of professor A. M. Krasnov.

**Keywords:** Geography, botany, flora, steppes, vegetation, physical and geographical factors, subtropics, Botanical Garden, heritage.

### References

1. Anuchin, D. N. (1894). *A few words about the development of Russian Earth science and the tasks of the Geographic Society in Moscow*. *Earth science*, 1, 1–16.
2. Krasnov, A. N. (1912). *Batumi Botanical Garden and its tasks. Introductory speech by prof. A. N. Krasnov*. *Russian Subtropics*, 7, 339–346.
3. Beilin, I. G., Parnes, V. A. (1968). *A. N. Krasnov*. Moscow: Science, 260.
4. Berg, L. S. (1915). *The subject and tasks of geography*. *Bulletin of the Imperial Russian Geographical Society*, II, 463–475.
5. Borzov, A. A. (1916). *Questions of teaching geography in the works of the Moscow Geographical and Pedagogical Commission. Proceedings of the Congress of geography teachers, Moscow, 26–29 March 1915. Issue first*, 11–23.
6. Bryzgalov, A. (1873). *Geography: Part One*. Moscow: publishing house of the Salaev brothers, 96.
7. Bunak, V. V. (2013). *The origin and ethnic history of the Russian people*. Moscow: Ripol Classic, 422.
8. *V. I. Vernadsky and Ukraine: correspondence (2019)*. Book 2: I. Official. Family. Kyiv, 1040.
9. Henkel, G. (1915). *Prof. Andrey Nikolaevich Krasnov. Natural science and geography, January*, 36–45.
10. Mushketov, V., Gerland, G. (1888). *Tasks and sections of geography*. St. Petersburg: A. S. Suvorin's printing house, 70.
11. Danilenko, V. (2019). *V. I. Vernadsky. Space of life and thoughts*. Kyiv: Akadempriodika, 352.
12. *The dispute of prof. A. N. Krasnov for the degree of Doctor of Geography (1894)*. *Earth science*, 1, 141–164.
13. *History of the Department – Andriy Mykolayovych Krasnov*. Available at : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/about/histori/krasnov/>.
14. *From the correspondence of A. N. Krasnov. A. N. Krasnov's letters to V. I. Vernadsky (1916)*. Professor Andrei Nikolaevich Krasnov (1862–1914). Kharkov: M. Kh. Sergeev's printing house, 114–132.
15. Kovalsky, Ya. I. (1875). *Geography*. St. Petersburg, 138.
16. Krasnov, A. N. (1890). *Geography as a new university science*. *Journal of the Ministry of Public Education*, 267, 233–244.
17. Krasnov, A. N. (1893). *Herbal steppes of the Northern Hemisphere*. Moscow: A. A. Levlis's print shop, 294.
18. Krasnov, A. N. (1895). *From travel impressions*. *Historical Bulletin*, January, 190–230.
19. Krasnov, A. N. (1895). *Russian tropics*. *Historical Bulletin*, February, 536–570.



20. Krasnov, A. N. (1894). *From a trip to the Far East of Asia. Vegetation of the mountain peaks of Java. Earth science, II*, 59–88.
21. Krasnov, A. N. (1894). *Vegetation of Japan and Sakhalin. Earth science, III*, 10–30.
22. Krasnov, A. N. (1894). *Beneath the tropics. Books of the Week, March*, 109–135. The next parts were published in subsequent issues of journals in April and May 1894.
23. Krasnov, A. N. (1902). *Materials for the anthropology of the Russian people. Moscow: typolithography by A. V. Vasiliev*, 17.
24. Krasnov, A. N. (1900). *On anthropological research and measurements in Kharkov and Valky districts. Moscow: typolithography by A. V. Vasiliev*, 11.
25. Krasnov, A. N. (1912). *Japan as the main source of borrowing from the Far East. Russian Subtropics*, 9, 484–491.
26. Krasnov, A. N. (1896). *The Far East of Asia, the special features of its nature and the significance of its cultures for the Transcaucasus. Natural Science and Geography, II*, 903–918.
27. Lipsky, V. I. (1899). *Flora of the Caucasus. A set of data about the flora of the Caucasus for a two-hundred-year period of its research, from Turkefor to the end of the 19th century. St. Petersburg: Herald typolithography*, 584.
28. Leister, A. (1915). *Review of Southern Kolkhida by A. N. Krasnov. Bulletin of the Caucasian Department of the Imperial Russian Geographical Society, XXIII (3)*, 317–318.
29. Milkov, F. N. (1955). *Krasnov as a geographer and a traveler. Moscow: Geography*, 176.
30. Milkov, F. N. (2006). *Geography and fiction: the boundaries of interpenetration. Voronezh State University Bulletin. Series: Geography, Geoecology*, 2, 121–124.
31. Mikhalevich, V. (1900). *From the past of teaching geography in our universities (Historical note). Natural Science and Geography, February*, 63–67.
32. Reshetin, N. L., Krasnov, A. (1881). *A sketch of the life of forty common insects from all orders. St. Petersburg: St. Petersburg workshop of teaching aids and games*, 55.
33. Peresadko, V. A., Shpurik, E. V. (2014). *Kharkiv University Professor Andrei Nikolaevich Krasnov in the host of outstanding domestic naturalists: to the 100th anniversary of his death. Bulletin of Batumi Botanical Garden. To the Memori of professor Andrei Krasnov (1862–1914)*, 91–95.
34. Krasnov P. K. (Platon Krasnov, brother of A. M. Krasnov – Author). (1916). *Andrey Nikolaevich Krasnov (notes for biography). Professor Andrei Nikolaevich Krasnov (1862–1914). Kharkiv*, 5–36.
35. Ryabova, V. I. *Krasnov Andrey Nikolaevich. Available at: [https://biblioclub.ru/index.php?page=author\\_red&id=26569](https://biblioclub.ru/index.php?page=author_red&id=26569)*
36. Semenov-Tyan-Shansky, P. P. (1915). *What is geography? Bulletin of the Imperial Russian Geographical Society*, 476–479.
37. *Natural science and geography. (1897). August*, 80–92.
38. Stebaev, I. V. (1991). *V. V. Dokuchaev's students A. N. Krasnov and V. I. Vernadsky: the genesis of the new scientific worldview. Classical natural science and modern science. Novosibirsk: publishing house NSU*, 13–28.
39. Taliev, V. I. (1902). *Have our steppes always been treeless? Natural Science and Geography, May*, 33–46.
40. Taliev, V. I. (1916). *Botanical and geographical works of A. N. Krasnov. Professor Andrei Nikolaevich Krasnov (1862–1914). Kharkiv*, 52–70.
41. Taliev, V. I. (1916). *Professor A. N. Krasnov as a scientist. Professor Andrei Nikolaevich Krasnov (1862–1914). Kharkiv*, 37–51.
42. Taliev, V. I. (1902). *Urgent problems of botanical geography. Natural science and geography, October*, 54–62.
43. Taliev, V. I. (1901). *Essays on current botanical literature. IV. Revival of G. Tanfiliev. Natural Science and Geography, October*, 33–48.
44. Taliev, V. I. (1900). *New geographic society. Natural Science and Geography, April*, 93–98.
45. Taliev, V. I. (1902). *Essays on current botanical literature. Natural Science and Geography*, 4, 45–59.
46. Tanfilyev, G. I. (1901). *On the question of the treelessness of the steppes (addressed to V. I. Taliev). Natural Science and Geography, May*, 62–71.
47. Chervanov, I. G. (2012). *Professor Andriy Mykolayovych Krasnov in the plead of geographers-countrymen and in the history of native geography (to 150th birthday anniversary). The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography*, 15, 3–7.
48. Chervanev, I. G. A. N. Krasnov. Available at : <https://web.archive.org/web/20120208103808/http://geography.in.ua/read-article.php?article.id=1>
49. Chervanev, I. G., Manveidze, Z. K. (2014). *Outstanding Professor of the Imperial Kharkiv University and the creator of the Batumi Botanical Garden: a memorial article dedicated to the 100th anniversary of his death. Bulletin of Batumi Botanical Garden. To the Memori of Professor Andrei Krasnov (1862–1914)*, 86–90.
50. Chepurkovsky, E. (1911). *Review of Lectures on Physical Geography. Natural Science and Geography, May*, 77–80.
51. Fedotova, A. A. (2010). *Botany in the Nizhny Novgorod expedition of V. V. Dokuchaev: "old" areas, new tasks. Studies in the History of Biology*, 2 (4), 66–83.
52. Fedorovsky, G. A. *Scientific feat of Professor Krasnov. Available at: <http://www.sochiru.com/item/3035>*
53. N. M. (1910). *Review of "Lectures on Botany for Students of Veterinary Institutes ...". Natural Science and Geography*, 10, 72–74.

UDC 911.3:656(477.82)

**Volodymyr Yosypovich Lazhnik,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of International Relations and Regional Studies,  
Faculty of International Relations, Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
13 Voli Av., Lutsk, 43025, Ukraine,

e-mail: [lazhnik-vi@ukr.net](mailto:lazhnik-vi@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-4123-0331>;

**Larysa Oleksiyivna Makovetska,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Lesya Ukrainka Eastern European National University,

e-mail: [maklora@ukr.net](mailto:maklora@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-9305-7326>;

**Yaroslava Serhiyivna Sosnytska,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Lesya Ukrainka Eastern European National University,

e-mail: [yaroslava.sosnytska@gmail.com](mailto:yaroslava.sosnytska@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7341-8801>

## TRANSPORT SUFFICIENCY OF ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF VOLYN REGION

**В. Й. Лажнік, Л. О. Маковецька, Я. С. Сосницька. ТРАНСПОРТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДМІНІСТРАТИВНИХ РАЙОНІВ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.** Проаналізовано транспортну забезпеченість адміністративних районів Волинської області з використанням різних кількісних параметрів та індикаторів. Наведено дані в розрізі адміністративних районів області по протяжності автомобільних і залізничних шляхів як головних компонентів транспортної системи області. Прослідковується певна залежність протяжності транспортних мереж від площі та конфігурації території районів і кількості населених пунктів. Розраховано густоту автошляхів і залізниць в адміністративних районах Волині на 1000 кв. км площі території і на 1000 жителів, а також індекси транспортної забезпеченості Е. Енгеля, Г. Гольца та Ю. Успенського. Виявлено особливості просторової диференціації показників транспортної забезпеченості адміністративних районів області. На основі сумування розрахованих часткових індексів транспортної забезпеченості та визначення їхнього середньозваженого значення за агломеративно-ієрархічною процедурою нормування вихідних параметрів отримано синтезований параметр, який може бути оцінений як інтегральний індекс рівня транспортної забезпеченості території районів Волині. Відповідно до значень інтегрального індексу, що відображає комплекс розглянутих характеристик транспортної мережі, виділено п'ять типів районів за рівнем транспортної забезпеченості їхніх територій. Встановлено, що найвищий рівень транспортної забезпеченості мають центральні і підденні райони області з вигідним транспортно-географічним положенням й протяжною мережею автошляхів і залізниць. Найнижчий рівень транспортної забезпеченості мають північні поліські райони через лісистість, заболоченість та невисокий рівень господарської освоєності території. Виявлено проблеми розвитку транспортної інфраструктури в районах Волинської області та вказано перспективні шляхи оптимізації рівня їхньої транспортної забезпеченості.

**Ключові слова:** автошляхи, залізниці, густина шляхів сполучення, інтегральний індекс, транспорт, транспортна забезпеченість, транспортна мережа, район.

**В. И. Лажник, Л. А. Маковецкая, Я. С. Сосницкая. ТРАНСПОРТНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ.** Проанализировано транспортную обеспеченность административных районов Волынской области с использованием различных количественных параметров и индикаторов. Приведены данные в разрезе административных районов области по протяженности автомобильных и железных дорог как главных компонентов транспортной системы области. Прослеживается определенная зависимость протяженности транспортных путей сообщения от площади и конфигурации территорий районов и количества населенных пунктов. Рассчитано плотность автодорог и железных дорог в административных районах Волины на 1000 кв. км площади территории и на 1000 жителей, а также индексы транспортной обеспеченности Е. Энгеля, Г. Гольца и Ю. Успенского. Выявлены особенности пространственной дифференциации показателей транспортной обеспеченности административных районов области. На основе суммирования рассчитанных частных индексов транспортной обеспеченности и определения их средневзвешенного значения по агломеративно-иерархической процедуре нормирования выходных параметров получено синтезированный параметр, который может быть оценен как интегральный индекс уровня транспортной обеспеченности территории районов Волины. В соответствии со значениями интегрального индекса, отражающего комплекс рассматриваемых характеристик транспортной сети, выделено пять типов районов по уровню транспортной обеспеченности их территорий. Установлено, что высокий уровень транспортной обеспеченности имеют центральные и южные районы области с выгодным транспортно-географическим положением и протяженной сетью автодорог и железных дорог. Самый низкий уровень транспортной обеспеченности имеют северные полесские районы через лесистость, заболоченность и невысокий уровень хозяйственной освоенности территории. Выявлены проблемы развития транспортной инфраструктуры в районах Волынской области и указаны перспективные пути оптимизации уровня их транспортной обеспеченности.

**Ключевые слова:** автодороги, железные дороги, плотность путей сообщения, интегральный индекс, транспорт, транспортная обеспеченность, транспортная сеть, район.

**Formulation of the scientific problem.** The constant expansion of economic relations, the growing importance of international integration and economic cooperation is one of the major trends of the world economy. Contemporary development of Ukraine, oriented towards integration into European

and world structures, determines priority directions in foreign and national policy, envisages the creation of conditions for free movement of goods, services, capital, labor. The development of social and economic processes, stipulated by the growth of transnational flows and the international transit of goods

and passengers through the territory of the border regions of Ukraine, increase the importance of transport. Volyn region, the geographical location, and the transport communications system of which define it as a region with significant transit potential and objectively intended to play the role of a communication bridge in the transport and foreign economic relations that are formed on the main axes of European trade and traffic flows. Therefore, an important scientific issue is the social and geographical study of the features of transport sufficiency of the territory of Volyn region and its regions, since the developed transport system forms the “mainframe” of the region and determines the dynamism and effectiveness of its social and economic development.

**Analysis of current research and publications.** In modern scientific literature, transport is often analyzed as a factor of productive forces development. It creates spatial advantages in the functioning of different territories and economic objects, expressed in their transport and geographical position. According to V. Buhromenko, the specifics of the economic-geographical approach in its study is in the peculiarities of the spatial transport functioning, since the territorial organization of manufacturing is the result of partially or fully realized opportunities provided by transport, and the limits of spatial interaction of production are limited by the possibilities of transport infrastructure [1, p. 7]. In foreign scientific literature, there is a discussion on the strategic goals of transport. The discussion is launched in 2008 in the scientific journal “Transport Reviews” [2], where the systemic spatial indicator, such as transport sufficiency of territories, settlements, and various objects, is most often preferred. The concept of transport sufficiency and transport sufficiency of the territories was offered by V. Buhromenko in his work on the reliability of the territorial organization of society from the communication aspect [3]. This concept is based on the idea of transport-infrastructure reliability of territories and its measure - «integrated transport accessibility», which includes two types of reliability: technical and topological (configuration reliability of the transport network). Theoretical issues of the territorial organization of society and transport sufficiency are outlined in the works of such foreign scientists as V. Buhromenko [4], K. Geurs [5], T. Litman [6], A. Marcusen [7], D. Metz [2], R. Servero [8], S. Tarkhov & S. Shlikhter [9] and others. In particular, the works of T. Litman [6], D. Metz [2], U. Hansen [10] and other foreign scientists highlight the question of the study of the obtaining transport services potential from the position of transport sufficiency, which depends on the level of security of the territories using communication. In developed countries, transport networks are considered as an important

prerequisite for regional development, which determines the directions of the economic specialization, and the complex development of regions, the formation of territorial-industrial complexes. That is why it was decided to assess the transport sufficiency level, it is essential to analyze the level of transport sufficiency of the territories by the transport network, which determines the possibilities of obtaining transport services.

Many Ukrainian scientists consider the issues of transport infrastructure security as a key and basis for the economic development of territories in the context of Ukrainian integration into the European and world community. Most of the modern publications are dedicated to studies of the territorial organization of the transport system in the territories of different taxonomic levels of Ukraine, transport sufficiency of settlements, features of transport infrastructure functioning, etc. In particular, these issues are covered in the writings of M. Hryhorovych, V. Hrytsevych, E. Kachan, K. Kotsenko, N. Pashynska, L. Tarangul, O. Topchiiev, O. Shablii and others.

The peculiarities of the transport system functioning in Volyn region from the point of geographical science are considered in the publications of V. Lazhnik [11], A. Maister [12; 13], L. Makovetska, S. Puhach, and Ya. Sosnytska [14], L. Matviychuk [15], O. Pikulyk [16] and others. The problems of territorial differentiation of transport development levels in the territory of Volyn region and its districts are considered in the works of A. Maister. The grouping of administrative districts by the integrated index of transport development of the territory is made [12]. L. Matviychuk analyzed the main priorities of the transport system functioning in Volyn region in the context of ensuring European integration processes [15]. O. Pikulyk considered the problems of transport infrastructure provision of social and economic development of the regions of Western Ukraine, including Volyn region [16]. At the same time, the problems of complex assessment of the transport sufficiency level, security, and permeability of the territory of Volyn region are insufficiently considered in modern scientific works, which led to the choice of the topic of our research.

**Highlighting previously unsettled problem constituent.** Analysis of the scientific research on transport sufficiency of administrative districts of Volyn region shows insufficient attention to the modern problems of territorial organization of its transport system, which is constantly being improved in different directions - technical, technological and organizational and in the context of improvement, problems identification, and functioning prospects.

In the current scientific literature, the transport sufficiency level of administrative districts in Volyn

region was carried out mainly based on the density of transport networks per unit of land. Also, the spatial differences in the levels of transport network development of districts are not sufficiently covered, because the modern parameters of their transport networks have not been determined using various security indices in the context of changes in the transport and geographical position of the region and in the conditions of our country's participation in the construction and formation of international transport corridors. That is why a comprehensive study of the transport sufficiency levels of the administrative districts in the border regions, as a result of the process of transport development of geo-space, is a topical trend of modern regional economic and geographical research.

**Formulating the purpose of the article.** The main purpose of the study is to carry out a comprehensive assessment of the spatial differentiation of the transport sufficiency levels of the administrative districts in Volyn region by land routes. There are the following objectives of the study:

- to determine the transport sufficiency level of administrative districts in the region using the basic indicators of transport system development in the region;
- to conduct grouping of administrative districts in the region by the integrated transport sufficiency index;
- to identify problems and prospects of the district transport system functioning in the region.

Outline of the main research material. In the socio-geographical studies of the transport systems in the districts, it is important to analyze the indicators characterizing the transport and infrastructure security of the territory, where the main basic element is the land routes network, which forms the linear elements of the transport system in the region.

In social geography, transport networks are considered as frameworks of territorial organization of population settlement and economy of a country or region. The types of territorial structures of economic complexes are determined by the mutual location of the main economic centers and transport highways and their configuration [17, p. 522]. The more sophisticated, diverse, and extensive the transport network, the more efficient vehicles operate, the more favorable the transport position of any site. The favorable transport and geographical position contribute to the socio-economic development and improves the conditions for the internal and external trade connections of the regions covered by transport corridors.

The transport network is formed in the process of economic development of a certain territory, an integral part of which is the creation of a transport communications network, which is embedded in the

understanding of “transport development of the territory”. The latter is often regarded as a necessary and paramount part of the overall economic development of the territory, which involves the creation of a large number of land structures, the arrangement of natural waterways for navigation and the subsequent exploitation of putting into operation routes [12, p. 107; 18, p. 22]. Besides, the “transport development of the territory” is interpreted as not just the technical provision of the territory by transport routes, but as the compliance of the transport network with the economic needs of a particular territory, and is a consequence of economic development, therefore reflects the main aspects of socio-economic development of the country or region [13, p. 123].

At present, there is no single system of indicators enabling a comprehensive assessment of the transport sufficiency of territories of different taxonomic levels. In the domestic literature, to assess the degree of transport infrastructure development, the transport development level of the territory and the characteristics of the basic transport-geographical relations, most often used block of traditional and alternative indicators, which are built based on linear and designed to assess the level of development of transport sufficiency of territories taking into account the economic activity – E. Engel, Yu. Kato, G. Goltz, Yu. Uspensky, L. Vasylevsky and others. [19; 20, etc.].

One of the simple quantitative indicators reflecting the features of transport development and security level of a certain area of the transport network is its density, which is expressed by the ratio of the connection length to a unit area or a certain number of inhabitants (calculated per 1000 km<sup>2</sup> or 1000 inhabitants of the territory). Both of these indicators can be combined, and calculated according to Engel's coefficient (Engel – Kato coefficient) [21, p. 40]:

$$Ke = \frac{L}{\sqrt{SP}}, \quad (1)$$

where  $L$  – length of the transport network, km;  $S$  – square of the studied land, km<sup>2</sup>;  $P$  – number of inhabitants, thousand people.

G. Goltz suggested to determine the transport sufficiency of the territory by comparing the length of interconnection routes with the square of the territory and the number of settlements [22; 23]:

$$Kg = \frac{L}{\sqrt{NS}}, \quad (2)$$

where  $L$  – length of the transport network, km;  $N$  – number of settlements;  $S$  – area of the study area, km<sup>2</sup>. G. Goltz's coefficient is a modification of Engel's coefficient because it gives a more accurate

picture of the level of transport development of the territory, given that the same transport routes connect settlements with different populations.

Yu. Uspensky introduced another indicator in Engel's formula – the number of transported goods (in tons) [21, p. 40]:

$$Ku = \frac{L}{\sqrt[3]{SPT}}, \quad (3)$$

where  $L$  – length of the transport network, km;  $S$  – area of the study area, km<sup>2</sup>;  $P$  – number of inhabitants, thousand people;  $T$  – the number of transported goods, ths. t. This formula often estimates the transport sufficiency of the countries or regions territories.

L. Vasylevsky modified Yu. Uspensky's formula by replacing the volume of goods transported in tones by the total weight of the output [19]. Such an indicator also does not characterize the degree of security of the territory by transport, since it does not reflect the features of either the network itself, neither the production and consumption of the products produced nor the transport-geographical relations. When transporting goods and passengers, some modes of transport may be replaced by others, so one of them cannot be judged on the degree of transport sufficiency of the territory of the region. For the calculation of the transport network security indicator, the indicators should be comparable. L. Vasylevsky offered joint equivalents for different types of transport, reduced to the capacity of railways: 1 km of railways – 1.0, paved roads – 0.15, motorways – 0.45, natural soil roads – 0.01, oil pipelines and waterways – 1.0, gas pipelines – 0.3 [24, p. 34].

The offered formulas, however, do not allow to establish a true degree of the transport sufficiency of the territory due to the non-equivalence of different routes in the absence of a comparable indicator, not taking into account the quality of roads and passengers, the peculiarities of the location of productive forces and their transport and economic connections, etc. Therefore, the main criterion for assessing the transport sufficiency of the territory is the correspondence of the directions of transport and economic connections and their capacity of the configuration of the transport network taking into transport permeability, and connectivity of the territory, accessibility of economic centers to the transport network. Regions, where transport and economic relations do not meet this criterion, are considered to be unsecured or insufficiently secured transport routes [21, p. 42].

The indicator of the total length of routes in the studied area gives only a general idea of the level of its transport sufficiency. Table 1 presents data in the section of administrative districts in Volyn region on the length and density of roads and railways, as the

main components of the transport system in the region. The analysis of indicators traces a certain dependence of the length of transport routes on the area and configuration of districts territories and the number of settlements in them.

The calculation of the density of the communication routes, taking into account the areas and population of the territories, does not quite correctly reflect the level of security of the territories by the communication routes. Therefore, it is advisable to make calculations based on other methodological approaches, in particular, by the coefficients of E. Engel, G. Goltz, and Yu. Uspensky (see formulas 1–3), with the reduction of all paths of conjugation to a comparable value and the methodological approach proposed by L. Vasylevsky [24, p. 34]. We calculated the total length of land routes for Volyn region (Table 2) according to the method of L. Vasylevsky. The length of the communication paths is used, given in Table 1.

Calculations of the total length of all land routes, bringing them to the capacity of the railways more accurately reflect the degree of provision of the territory of the districts with transport infrastructure and make it possible to compare them with each other. Thus, Kovel district has the largest length of roads, occupying a central transport and geographical position in the region. Manevychi, Horokhiv, Kivertsi, Lutsk and Volodymyr-Volynskiy districts are relatively well provided with transport routes, as there are international and national highways and railways through their territories. Shatsk, Lokachi and Liubeshiv districts are insufficiently provided with a transport network since they have a small length of highways and no railways (Table 2).

The calculations of the roads density and the values of E. Engel, G. Goltz and Yu. Uspensky coefficients on the reduced length of transport communications to the capacity of railways, although they do not reflect the sufficiency or optimality of the transport network, are still important comparative indicators of transport sufficiency of districts in Volyn region. In essence, the transport sufficiency level of the territory is an integrated (synthetic) indicator, the quantitative value of which is a procedure for reducing various sizes and scales of partial indicators to a single value by the procedure of rationing (standardization) of selected indicators, which ensures their comparability. The normalization of the initial indicators was carried out according to the agglomerative-hierarchical procedure of standardization, which is often used in the classification of various geographical objects [25]. The standardization procedure for indicators was performed according to the following formula:

$$\overline{X_{ij}} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n; \\ j = 1, 2, 3, \dots, m, \end{matrix} \quad (4)$$

Table 1

The length and density of communication routes in administrative districts of Volyn region on 01.01.2018 \*

Administrative districts	Length of highways of all categories, km	Length of railways, km	Density of highways, km on 1000 km <sup>2</sup>	Density of highways, km on 1000 inhabitants	Density of railways, km on 1000 km <sup>2</sup>	Density of railways, km on 1000 inhabitants
Volodymyr-Volynskyi	397,7	53	376,6	6,27	50,2	0,84
Horokhiv	489,0	52	435,6	9,61	46,3	1,02
Ivanychi	284,2	20	428,3	3,24	30,2	0,23
Kamin-Kashyrskyi	352,8	26	201,9	5,48	14,9	0,4
Kivertsi	449,0	40	317,5	7,09	28,3	0,63
Kovel	517,4	176	292,3	4,75	99,4	1,62
Lokachi	314,4	-	441,6	14,30	0	0
Lutsk	441,1	39	249,9	1,58	38,4	0,14
Liubeshiv	330,7	-	228,1	9,23	0	0
Liuboml	384,6	32	259,7	9,90	21,6	0,82
Manevychi	479,8	49	211,8	8,87	21,6	0,91
Ratne	454,9	18	316,6	8,73	12,5	0,35
Rozhyshe	341,2	28	367,7	8,79	30,2	0,72
Stara Vyzhivka	363,8	31	324,5	12,10	27,7	1,03
Turiisk	377,3	29	313,1	14,50	24,1	1,11
Shatsk	217,4	-	286,4	13,00	0	0
<b>Volyn region</b>	<b>6195,3</b>	<b>593</b>	<b>307,6</b>	<b>6,00</b>	<b>29,4</b>	<b>0,57</b>

\* Calculated by the authors according to the Roads Service in Volyn region and Lviv Railway.

Table 2

The duration and less efficiency of the roads connecting the districts of Volyn region are given \*

Administrative district	The total length of transport routes, reduced to the capacity of railways, km	Engel's coefficient, $K_e$	Goltz's coefficient, $K_g$	Uspensky's coefficient, $K_u$	Integral index of transport sufficiency, $I_{ts}$
Volodymyr-Volynskyi	141,5	0,55	0,49	0,31	0,577
Horokhiv	157,6	0,66	0,49	0,51	0,707
Ivanychi	85,1	0,35	0,42	0,28	0,377
Kamin-Kashyrskyi	109,6	0,33	0,33	0,37	0,218
Kivertsi	148,6	0,50	0,46	0,28	0,437
Kovel	296,6	0,68	0,73	0,56	0,877
Lokachi	67,5	0,54	0,34	0,46	0,475
Lutsk	145,4	0,27	0,49	0,12	0,340
Liubeshiv	92,5	0,41	0,35	0,68	0,294
Liuboml	118,7	0,49	0,37	0,68	0,486
Manevychi	167,7	0,48	0,42	0,43	0,412
Ratne	120,9	0,44	0,38	0,54	0,400
Rozhyshe	109,3	0,58	0,43	0,68	0,600
Stara Vyzhivka	117,3	0,64	0,51	0,83	0,702
Turiisk	127,5	0,72	0,42	0,54	0,662
Shatsk	34,0	0,30	0,22	0,58	0,278
<b>Volyn region</b>	<b>2061,0</b>	<b>0,45</b>	<b>0,44</b>	<b>0,32</b>	<b>0,405</b>

\* Calculated by the authors.

where  $\overline{X_{ij}}$  – normalized value of the indicator;  $X_{ij}$  – partial indicators of transport sufficiency of the districts;  $X_{min}$  – the worst values for each indicator of all taken for calculations;  $X_{max}$  – the largest values of indicators;  $n$  – the number of studied territorial units;  $m$  – the number of indicators taken for calculations. Obtaining an integral characteristic is performed on the basis of a vector of dimension  $D$  ( $m$ ). It shows the degree of remoteness (proximity) of all

administrative units from the conditional one, which has the worst evaluation indicators, in our case – from the conditional “worst provided” area. For calculations, the values of 7 partial indicators such as the density of roads and railways per 1000 km<sup>2</sup> of territory and 1000 inhabitants, the values of the coefficients of E. Engel, G. Goltz and Yu. Uspensky were taken.

Based on summing up partial indexes of trans-

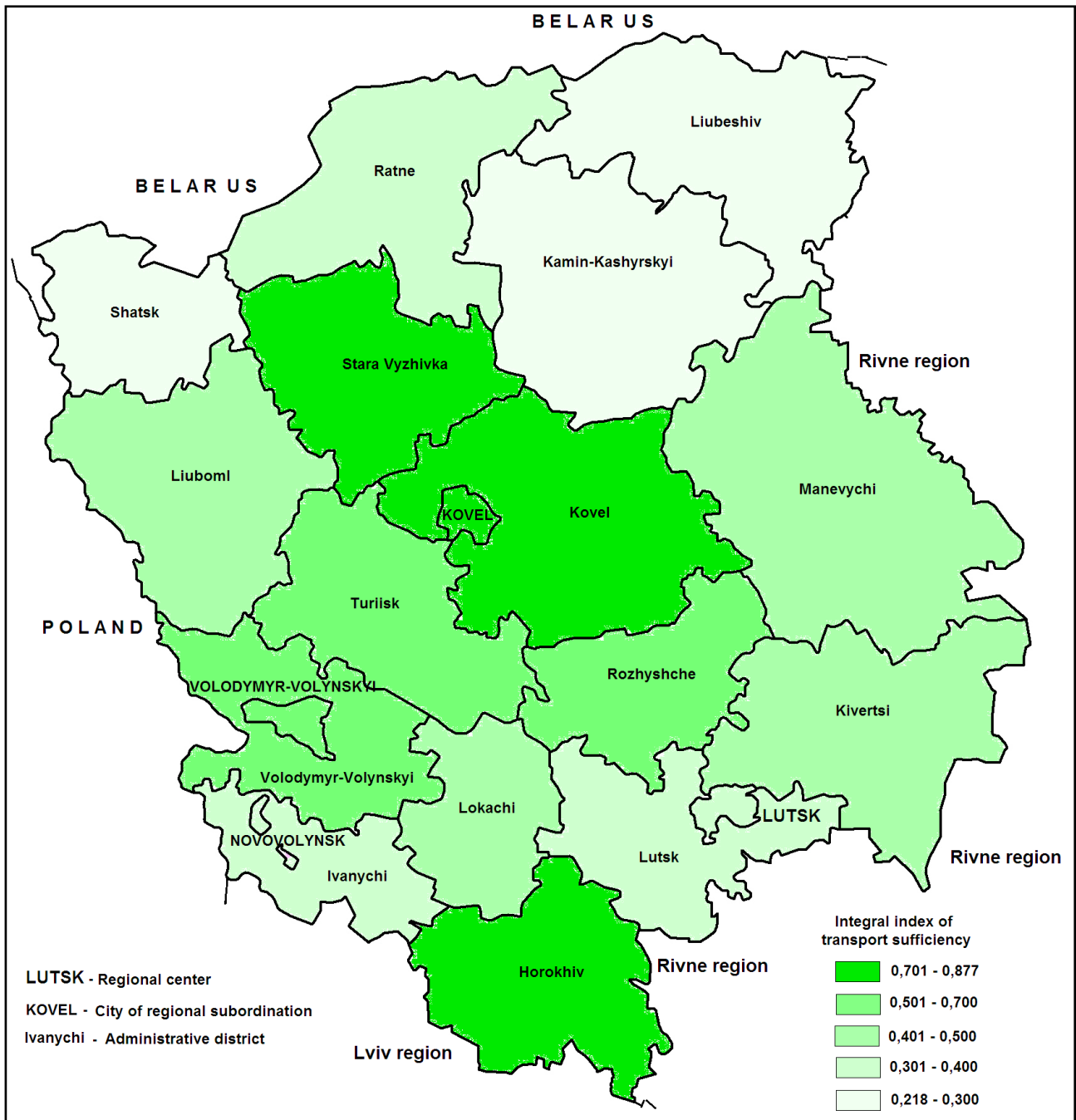


Fig. 1. Integral index of transport sufficiency of districts of Volyn region

port sufficiency and determination of their weighted average value, a synthesized parameter  $I_{ts}$  was obtained. It can be estimated as an integral index of the level of transport sufficiency of the territory of a

separate district in Volyn region (Fig. 1). The value of the integrated transport sufficiency index of the  $I_{ts}$  areas ranges from 0.22 to 0.88 (Table 2) and is dimensionless, which expresses the cumulative ef-

fect of taking into account partial indicators of transport sufficiency.

According to the values of the integral indicator *I<sub>ts</sub>*, which reflects the set of considered characteristics of the transport network of Volyn region, we can distinguish five types of administrative districts according to the level of transport sufficiency of their territories. Thus, Kovel, Horokhiv and Stara Vyzhivka districts have the highest level of transport sufficiency, which is characterized by a favorable transport and geographical position and a long network of roads and railways. Turiisk, Rozhyshe and Volodymyr-Volynskiy districts have above-average levels of transport sufficiency. Areas with average levels of transport sufficiency include Liuboml, Lokachi, Kivertsi and Manevychi districts. Ratne, Ivanychi and Lutsk districts have an insufficient level of transport sufficiency. The poorly provided with transport network districts are Liubeshiv, Shatsk and Kamin-Kashyrskiy (Fig. 1).

The territory of Volyn region is heterogeneous in terms of economic development, formed settlement, transport network, and natural conditions. Accordingly, the level of transport infrastructure in different parts of the region is diverse. The central and southern districts have the best transport sufficiency of the territory, while the northern districts are insufficiently provided with transport infrastructure due to forest cover, swamps, and low level of economic development.

The main problems of the transport system development in Volyn region are: 1) poor condition of the transport infrastructure, compared to the neighboring countries and regions of Ukraine, which reduces the volume of transit cargo and passenger traffic; 2) considerable deterioration of the rolling stock of transport, which leads to a decrease in its speed and quality of rendering of transport services; 3) low share of the first category roads in the network of all public roads (less than 1%); 4) extremely unsatisfactory condition and insufficient roads in the Polissia districts of the region; 5) a sharp decrease in the share of the railway network in freight and passenger traffic; 6) unsatisfactory capacity of checkpoints on the state border with Poland and Belarus and the need to modernize them in order to speed up the procedure of customs and border control; 7) underfunding of the road sector and untimely repair works, both on public roads and communal roads, which leads to the destruction of their coverage, etc.

The inconsistency of the operational characteristics of public roads with modern requirements for equality and rigidity, the inconsistency of their development with the pace of motorization in the region remains an essential problem. It has a drastic effect on the reduction of the main highways capacity, transport connectivity, and accessibility of espe-

cially peripheral territories and settlements. Currently, the worst situation is on the highways M-19 “Domanove–Kovel–Chernivtsi–Terebleche”, R-15 “Kovel–Volodymyr–Volynskiy–Zhovkva”, “Mayunychi–Velyka Osnysia–Kolky–Rozhyshe–Torchyn–Shklin”, “Lviv–Radekhiv–Lutsk”, M-07 “Kyiv–Kovel–Yagodyn”. There are areas affected by inflows, ruts, unevenness, and sagging of the roadway. Therefore, there is an urgent need to repair the road surface, especially on highways of territorial and local importance. In rural areas, the level of transport and road infrastructure development is of insufficient quality, especially in Polissia districts of the region, where some villages do not have a stable bus service.

Border infrastructure at international checkpoints on the borders with Poland (Yagodyn–Dorogusk and Ustyluh–Zosin) and with Belarus (Domanove–Mokhrany and Dolsk–Mokhro) also needs to be developed. There is a need to build new checkpoints on the border with Poland near Novovolynsk and Shatsk. All this would significantly improve the level of transport sufficiency of Ivanychi and Shatsk districts as border districts and the region in general.

The transport system of Volyn region due to insufficient development requires a separate comprehensive and systematic approach to its improvement and reform, optimization of its functioning, and increase the level of transport sufficiency of districts and settlements of the region. A promising direction in the context of optimizing the functioning of the transport system of the region is the implementation of an investment project for the reconstruction of highways M07 “Yagodyn–Kovel–Kyiv” and M19 “Domanove–Kovel–Chernivtsi–Mamalyga”, which are included in the system of European ITCs, which will increase the transit potential of the region and the capacity of roads in the future.

An important priority in the context of optimizing the functioning of the transport system of the region is the introduction of high-speed rail and electrification of heavy railway lines. There is a need to create a transport and logistics center in Kovel, which is the largest transport hub in the region, to increase the logistics efficiency of the transport system and the transit potential of Volyn [26, p. 8]. Among other promising priorities for the transport system development and improving the transport sufficiency of the region there are the following:

- ensuring a high level of transport sufficiency of districts and settlements and the quality of transport services for the population of the region by increasing and improving the network of roads and the structure of the fleet;
- improving the operational condition of roads



and creating modern highways of regional and local importance through the reconstruction and modernization of old roads, as well as increasing the number of paved roads, especially in the northern districts of the region;

– integration into the European and world transport system in the context of the development of international transport corridors based on the opening of new checkpoints on the Ukrainian-Polish border Adamchuky–Zberezhe near Shatsk and Krichiv–Kryliv near Novovolynsk;

– development of plans for capital and current repairs of roads of local significance depending on the degree of wear of their transport and operational properties, etc.

To solve these problems, it is necessary to develop a clear list of specific programs at the state and regional levels, to attract European investment for their implementation. Therefore, to achieve success, it is necessary to make a lot of efforts aimed at improving all components of the transport potential of the region to improve the transport sufficiency of the districts of the region.

**Conclusions.** The conducted analysis of the transport sufficiency level of the administrative districts in Volyn region shows that the central and

southern districts of the region have the best transport sufficiency, while Polissia districts are not sufficiently provided with transport infrastructure due to forest, swamps and low level of economic development of the territory. The calculated integral index of the level of transport sufficiency, taking into account several partial indicators, made it possible to group districts of the region by the level of transport sufficiency and to distinguish five types of them: high level (3 districts), above-average level (3 districts), medium level (4 districts), with insufficient level (3 districts) and the lowest level (3 districts). The presence of certain problems and disparities in the transport system functioning in the region, especially Polissia districts, hinders the growth of the transit value of the region and increase the level of its socio-economic development. Volyn region, having a fairly extensive transport network, can in the future optimize the level of transport sufficiency of districts based on efficient use of transit potential with the integration of the transport complex into the European transport and communication system. Prospects for further research are to assess the degree of transport permeability and connectivity of Volyn region.

#### References

1. Бугроменко В. Н. Современная география транспорта и транспортная доступность / В. Н. Бугроменко // Известия РАН. Серия Географическая. – 2010. – № 4. – С. 7–16.
2. Metz D. The myth of travel time saving / D. Metz // Transport Reviews. – 2008. – № 28 (3). – P. 321–336. <https://doi.org/10.1080/01441640701642348>.
3. Бугроменко В. Н. Надежность территориальной организации общества (коммуникационный аспект) / В. Н. Бугроменко // Известия АН СССР. Сер. геогр. – 1989. – № 1. – С. 34–48.
4. Бугроменко В. Н. Транспорт в территориальных системах / В. Н. Бугроменко ; отв. ред. Г. А. Гольц ; АН СССР, Дальневост. отд-ние, Тихоокеан. ин-т географии. – М. : Наука, 1987. – 112 с.
5. Geurs K. T. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies / K. T. Geurs, B. Van Wee // Journal of Transport Geography. – 2004. – № 12(2). – P. 127–140.
6. Litman T. A. Evaluating Accessibility for Transportation Planning: Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities / T. A. Litman. – Canada, Victoria : Victoria Transport Policy Institute, 2020. – 63 p.
7. Markusen A. Regions: The economics and politics of territory / A. Markusen. – Rowman & Littlefield Publishers Inc., 1987. – 304 p.
8. Cervero R. Accessible Cities and Regions: A Framework for Sustainable Transport and Urbanism in the 21st Century / R. Cervero // WORKING PAPER. UCB-ITSVWP-2005-3. August, 2005. – 44 p.
9. Тархов С. А. География транспортных систем / С. А. Тархов, С. Б. Шлихтер. – М. : РОУ, ИГ РАН, 1995. – 148 с.
10. Hansen W. G. How accessibility shapes land use / W. G. Hansen // Journal of American institute of planners. – 1959. – Vol. 35. – № 2. – P. 10–44.
11. Лажнік В. Й. Особливості транспортно-географічного положення адміністративних районів Волинської області / В. Й. Лажнік // Економічна і соціальна географія Волині. – Луцьк, 1992. – Вип. 1. – С. 70–79.
12. Майстер А. А. Геопросторова диференціація господарської освоєності території Волинської області : монографія / А. А. Майстер. – Луцьк : Терен, 2017. – 196 с.
13. Майстер А. А. Транспортна освоєність території Волинської області / А. А. Майстер // Часопис соц.-екон. географії. – 2015. – Вип. 19(2). – С. 188–192.
14. Маковецька Л. О. Транспортний комплекс Волинської області як складник регіональної конкурентоспроможності та євроінтеграційних процесів / Л. О. Маковецька, С. О. Пугач, Я. С. Сосницька // Актуальні проблеми крайознавчої науки : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції (м. Луцьк, 15–16 лист. 2016 р.) / за ред. В. Й. Лажніка. – Луцьк : Вежа-Друк, 2016. – С. 110–113.
15. Матвійчук Л. Ю. Основні пріоритети функціонування транспортної системи Волинської області в контексті забезпечення євроінтеграційних процесів / Л. Ю. Матвійчук // Економічні науки. Серія «Екон. теорія та екон. історія» : зб. наук. праць ЛНТУ. – 2009. – Вип. 6 (23). – Ч. 2. – С. 74–85.

16. Пікулик О. Б. Транспортне інфраструктурне забезпечення соціально-економічного розвитку Західного регіону України : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.05 / О. Б. Пікулик. – Львів, 2009. – 20 с.
17. Топчієв О. Г. Основи суспільної географії : навч. посібник / О. Г. Топчієв. – Одеса : Астропринт, 2001. – 560 с.
18. Каючкин Н. П. Географические основы транспортного освоения территории / Н. П. Каючкин. – Новосибирск : Наука, 2003. – 166 с.
19. Василевский Л. И. География транспорта / Л. И. Василевский // География мирового хозяйства (ведущие отрасли). – М. : Просвещение, 1971. – 320 с.
20. Дабиев Д. Ф. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России / Д. Ф. Дабиев, У. М. Дабиева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-2. – С. 283–284.
21. Никольский И. В. География транспорта СССР / И. В. Никольский. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 286 с.
22. Гольц Г. А. Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М. : Наука, 1982. – 260 с.
23. Радченко Д. М. О способах измерения степени развития транспортной инфраструктуры / Д. М. Радченко, Ю. Ю. Пономарев // Пространственная экономика. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 37–74.
24. Ушаков С. С. Транспортная система мира / С. С. Ушаков, Л. И. Василевский. – М. : Транспорт, 1971. – 216 с.
25. Тихунов В. С. Разработка алгоритмов распознавания, классификации и картографирования географических комплексов с помощью ЭВМ / В. С. Тихунов // Новые методы в математической картографии (математико-картографическое моделирование и автоматизация). – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978. – С. 52–69.
26. Стан та перспективи розвитку інфраструктури регіонів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fes.kiev.ua/new/wb/media/InfrASTRUKTURA.pdf>.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

UDC 911.3:656(477.82)

**Volodymyr Lazhnik,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of International Relations and Regional Studies,  
Faculty of International Relations, Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
13 Voli Av., Lutsk, 43025, Ukraine,  
e-mail: [lazhnik-vi@ukr.net](mailto:lazhnik-vi@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-4123-0331>;

**Larysa Makovetska,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [maklora@ukr.net](mailto:maklora@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-9305-7326>;

**Yaroslava Sosnytska,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [yaroslava.sosnytska@gmail.com](mailto:yaroslava.sosnytska@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7341-8801>

## TRANSPORT SUFFICIENCY OF ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF VOLYN REGION

**The purpose of the study.** The purpose of the study is to analyze the level of transport sufficiency of administrative districts in Volyn region mainly landlocked routes using different quantitative parameters and indicators.

**Research methods.** The following methods were applied in our research: statistical, comparative, cartographic, method of classification, and system analysis.

**Academic novelty.** The academic novelty of the study is a comprehensive approach to assessing the transport sufficiency level of administrative districts in Volyn region using the integrated transport sufficiency index, which takes into account simultaneously the density of transport networks per unit of territory and population and security indices calculated by E. Engel, G. Goltz, Yu. Uspensky.

**Practical significance.** The practical significance of the research results is determined by their further use for optimization and modernization of transport infrastructure in Volyn region.

**Research results.** The analysis of the transport sufficiency of administrative districts in Volyn region using different quantitative parameters and indicators showed that there is a clear dependence of the land routes length on the area and the configuration of the district's territory and the number of settlements. We calculated the density of roads and railways in the administrative districts of the region per 1000 square kilometers and 1000 inhabitants, as well as indexes of transport sufficiency of E. Engel, G. Goltz, and Yu. Uspensky. The above-mentioned data showed ambiguity in determining the levels of transport sufficiency of districts in the region. For more informative expression of this indicator of transport system functioning in districts, the weighted average value was determined using the agglomerative-hierarchical procedure of nor-

malization of these 7 output parameters. We obtained the synthesized parameter, which can be estimated as an integral index of the transport sufficiency level in Volyn districts. The integral index reflects the cumulative effect of taking into account partial indicators of transport sufficiency and shows the presence of significant spatial differentiation in the transport sufficiency level of the region. According to the values of the integral index of the transport sufficiency level, five types of districts are distinguished by the level of transport sufficiency of their territories. It is established that the highest level of transport sufficiency has the central and southern districts of the region with favorable transport and geographical position and a long network of roads and railways. The northern districts of the region have the lowest level of transport sufficiency due to the forest, swamps, and low level of economic development. The problems of development of transport infrastructure in Volyn region are revealed and the perspective ways of optimizing the level of their transport sufficiency are indicated.

**Keywords:** motorways, railways, traffic density, integral index of transport sufficiency, transport sufficiency, transport networks, district.

### References

1. Bugromenko, V. N. (2010). *Sovremennaya geografiya transporta iy transportnaya dostupnost [Modern geography of transport and transport accessibility]*. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya – Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 4, 7-16 [in Russian].
2. Metz, D. (2008). *The myth of travel time saving*. *Transport Reviews*, 28, 321-336. <https://doi.org/10.1080/01441640701642348>
3. Bugromenko, V. N. (1989). *Nadezhnost territorialnoy organizatsii obshchestva (kommunikatsionnyy aspekt) [Reliability of the territorial organization of society (communication aspect)]*. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya – Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 1, 34–48 [in Russian].
4. Bugromenko, V. N. (1987). *Transport v territorialnykh sistemakh ; otv. red. H. A. Golts ; AN SSSR, Dalnevost. otdnie, Tikhookean. in-t geografii. [Transport in territorial systems]*. M.: Nauka, 112 [in Russian].
5. Geurs, K. T., Van Wee B. (2004). *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies*. *Journal of Transport Geography*, 12 (2), 127-140.
6. Litman, T. A. (2020). *Evaluating Accessibility for Transportation Planning: Measuring Peoples Ability to Reach Desired Goods and Activities*. Canada, Victoria : Victoria Transport Policy Institute, 63.
7. Markusen, A. (1987). *Regions: The economics and politics of territory*. Rowman & Littlefield Publishers Inc., 304.
8. Cervero, R. (2005). *Accessible Cities and Regions: A Framework for Sustainable Transport and Urbanism in the 21st Century*. WORKING PAPER. UCB-ITSVWP-2005-3, August, 44.
9. Tarkhov, S. A., Shlikhter, S. B. (1995). *Geografiya transportnykh system [Geography of transport systems]*. M.: ROU, IG RAN, 148 [in Russian].
10. Hansen, W. G. (1959). *How accessibility shapes land use*. *Journal of American institute of planners*, 35 (2), 10-44.
11. Lazhnik, V. Y. (1992). *Osoblyvosti transportno-heohrafichnoho polozhennia administratyvnykh raioniv Volynskoi oblasti [Features of transport-geographical position of administrative districts of Volyn region]*. *Economic and social heohrafiia Volyni – Economic and social geography of Volhyn*. Lutsk, 1, 70–79 [in Ukrainian].
12. Maister, A. A. (2017). *Heoprostorova dyferentsiatsiia hospodarskoi osvoinosti terytorii Volynskoi oblasti: monohrafiia [Geospatial differentiation of economic development of territory of the Volyn region: monograph]*. Lutsk: Teren, 196 [in Ukrainian].
13. Maister, A. A. (2015). *Transportna osvoinist terytorii Volynskoi oblasti [Transport development of territory of Volyn region]*. *Chasopys sots.-ekon. heohrafiia – Journal of Human Geography*, 19 (2), 188-192 [in Ukrainian].
14. Makovetska, L. O., Puhach S. O., Sosnytska, Ya. S. (2016). *Transportnyi kompleks Volynskoi oblasti yak skladnyk rehionalnoi konkurentospromozhnosti ta yevrointehratsiinykh protsesiv [Transport complex of Volyn region as a component of regional competitiveness and European integration processes]*. *Aktualni problemy krainoznavchoi nauky : materialy IV Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsii (m. Lutsk, 15–16 lyst. 2016 r.) / za red. V. Y. Lazhnik – Topical problems of country studies: Materials IV International Research-practice Internet-conferences (Lutsk, November 15-16, 2016) / ed. V. Lazhnik*. Lutsk : Vezha-Druk, 110-113 [in Ukrainian].
15. Matviichuk, L. Yu. (2009) *Osnovni priorytety funktsionuvannia transportnoi systemy Volynskoi oblasti v konteksti zabezpechennia yevrointehratsiinykh protsesiv [Main priorities of functioning of the transport system of Volyn region in the context of providing European integration processes]*. *Ekonomichni nauky. Seriya «Ekon. teoriia ta ekon. istoriia» : zb. nauk. prats LNTU – Economic Sciences. Series “The Economy theory and economics. Story” : coll. of sciences. against the LNTU*, 6 (23), Ch. 2, 74-85 [in Ukrainian].
16. Pikulyk, O. B. (2009). *Transportne infrastrukturalne zabezpechennia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku Zakhidnoho rehionu Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. ekon. nauk: 08.00.05 [Transport infrastructural support of socio-economic development of the Western region of Ukraine: abstract. diss. ... cand. econom. sciences: 08.00.05]*. Lviv, 20 [in Ukrainian].
17. Topchiiev, O. H. (2001). *Osnovy suspilnoi heohrafiia: navch. posibnyk [Foundations of Social Geography: educ. manual]*. Odesa: Astroprynt, 560 [in Ukrainian].

18. Kayuchkin, N. P. (2003). *Geograficheskiye osnovy transportnoho osvoeniya terrytorii* [Geographical basis of transport development of the territory]. Novosibirsk: Nauka, 166 [in Russian].
19. Vasylevskiy, L. Y. (1971). *Geografiya transporta* []. *Geografiya myrovoho khaziaistva (vedushchiye otrasli)* [Geography of transport. Geography of World Economy (leading industries)]. M.: Prosveshchenye, 320 [in Russian].
20. Dabyev, D. F., Dabyeva, U. M. (2015). *Otsenka transportnoy infrastruktury makroregionov Rossii* [Assessment of the transport infrastructure of macro-regions of Russia]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prykladnykh i fundamentalnykh issledovaniy – International Journal of Applied and Fundamental Research*, 11-2, 283-284 [in Russian].
21. Nykolskiy, Y. V. (1978). *Geografiya transporta SSSR* [Geography of transport of the USSR]. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 286 [in Russian].
22. Golts, H. A. (1982). *Transport i rasseleniye* [Transport and resettlement]. M.: Nauka, 260 [in Russian].
23. Radchenko, D. M., Ponomarev, Yu. Yu. (2019). *O sposobakh izmereniya stepeni razvitiya transportnoy infrastruktury* [On methods of measuring the degree of development of transport infrastructure]. *Prostranstvennaya ekonomika – Spatial economics*, 15 (2), 37-74 [in Russian].
24. Ushakov, S. S., Vasylevskiy, L. Y. *Transportnaia sistema myra* [Transport system of the world]. M.: Transport, 216 [in Russian].
25. Tykunov, V. S. (1978). *Razrabotka alhorytmov raspoznavaniya, klassyfykatsyy y kartohrafirovaniya heohrafy-cheskykh kompleksov s pomoshchiu EVM* [Development of recognition, classification and mapping algorithms for geographical complexes using computers]. *Novye metody v matematycheskoi kartohrafiy (matematyko-kartohrafycheskoe modelyrovanye y avtomatyzatsiya) – New methods in mathematical cartography (mathematical cartographic modeling and automation)*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 52-69 [in Russian].
26. *Stan ta perspektyvy rozvytku infrastruktury rehioniv Ukrainy* [State and prospects of infrastructure development in the regions of Ukraine]. Available at : <http://www.fes.kiev.ua/new/wb/media/InfrASTRUKTURA.pdf> [in Ukrainian].

*Alina Yuriiivna Ovcharenko,*

PhD Student (Geography), V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [alina\\_06ov@ukr.net](mailto:alina_06ov@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8500-4152>

## RECOGNITION OF INDICATIVE LANDSCAPE OBJECTS WITHIN PROTECTED AREAS

**А. Ю. Овчаренко. ВИЯВЛЕННЯ ІНДИКАТИВНИХ ЛАНДШАФТНИХ ОБ'ЄКТІВ В МЕЖАХ ПРИРОДООХОРОНИХ ТЕРИТОРІЙ.** Робота присвячена ідентифікації ландшафтних об'єктів (рослинні угруповання та водні об'єкти), які змінюються впродовж часу і впливають на структуру ландшафтних комплексів. Територія дослідження знаходиться в межах природоохоронної зони, тому важливим аспектом виявлення індикаторів зміни ландшафтів рівня фації є дистанційні методи дослідження. Створення образу ландшафтної мозаїки за допомогою космічних знімків Sentinel-2, Planet Scope, Landsat 8 дозволяє укласти карту-гіпотезу, сформувати базу даних та проаналізувати образ, який створений дистанційно. Автором було уточнено методику укладання ландшафтної карти та виявлення індикативних об'єктів і проведено експериментальні роботи щодо вибору даних космічних знімків та інструментарію обробки. Обробка даних космічних знімків дає можливість аналізувати важкодоступні території, наприклад ті, що знаходяться в зоні підвищеної охорони чи райони в містах боліт, густих лісів, гір і т. д. У процесі укладання методичних аспектів було використано і апробовано декілька методів класифікації космічних знімків: використовували автоматичну і ручну обробку. Зокрема, кращі результати отримані методом контрольованої класифікації. Вибір космічних знімків і його просторового розширення залежить від задач, поставлених перед дослідником, площі території, характеру різноманітності об'єктів та наявності можливостей покупки чи відкритого використання даних. Вибір індикаторів значно залежить від технічної обробки даних, візуального та програмного аналізу окремої території. Для природоохоронних територій важливо враховувати специфіку місцевості та характер змінності образу ландшафтів під впливом природних та антропогенних факторів (так як природоохоронні території зазнають вплив від господарської діяльності людини і створенні як природні резервати екосистем та їх окремих компонентів). Виявлення індикаторів дозволяє проаналізувати, спрогнозувати ситуацію в межах природоохоронної місцевості та вжити заходів для збереження ландшафтів.

**Ключові слова:** дані космічних знімків, рослинні угруповання, ландшафт, індикативні ландшафтні об'єкти, національний природний парк.

**А. Ю. Овчаренко. ВЫЯВЛЕНИЕ ИНДИКАТИВНОГО ЛАНДШАФТНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ПРИРОДО-ОХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.** Работа посвящена идентификации ландшафтных объектов (растительные сообщества и водные объекты), которые изменяются в течение времени и влияют на структуру ландшафтных комплексов. Территория исследования находится в пределах природоохранной зоны, поэтому важным аспектом выявления индикаторов изменения ландшафтов уровня фации является дистанционные методы исследования. Создание образа ландшафтной мозаики с помощью космических снимков Sentinel-2, Planet Scope, Landsat-8 позволяет составить карту-гипотезу, сформировать базу данных и проанализировать образ, созданный дистанционно. Автором была сформирована методика составления ландшафт-ной карты, выявления индикативных объектов и проведены экспериментальные работы с помощью выбора конкретных данных космических снимков и инструментария обработки. Обработка данных космических снимков дает возможность анализировать труднодоступные территории, например те, что находятся в зоне повышенной охраны или районы в городах болот, густых лесов, гор и т. д. В процессе составления методических аспектов были использованы и апробированы несколько методов классификации космических снимков: использовали автоматическую и ручную обработку. В частности, лучшие результаты получены методом контролируемой классификации. Выбор космических снимков и его пространственного расширения зависит от задач, поставленных перед исследователем, площади территории, характера разнообразия объектов и наличие возможности покупки или открытого использования данных. Выбор индикаторов значительно зависит от технической обработки данных, визуального и программного анализа отдельной территории. Для природоохранных территории важно учитывать специфику местности и характер изменчивости образа ландшафтов под влиянием природных и антропогенных факторов (так как на природоохранные территории влияет хозяйственная деятельность человека и они созданы как природные резерваты экосистем и их отдельных компонентов). Выявление индикаторов позволяет проанализировать, спрогнозировать ситуацию в пределах природоохранной территории и принять меры для сохранения ландшафтов.

**Ключевые слова:** данные космических снимков, растительные сообщества, ландшафт, индикативные ландшафтные объекты, национальный природный парк.

**Formulation of the problem.** The article presents the results of a study of indicative landscape objects of nature protection territories using the example of Slobozhanskiy National Nature Park in the Kharkiv region, the Ukraine. The authors propose the creation of an image of an object and its visualization using the means of geographic information systems. The choice of various types of satellite images to obtain relevant information at the time of the study, depending on the specific tasks, is justified. The selection of indicative objects and their characteristics is analyzed. It was experimentally deter-

mined that indicative objects, information about which can be regularly obtained from satellite images, include plant communities and the contours of water bodies that form landscapes (facies level).

The best way to obtain reliable information from satellite images was determined by the methods of controlled classification (creating a layer of reference sections), namely "Minimum Distance". For reliability and a more accurate definition of the contours, it is necessary to first divide the studied territory into parts with relatively uniform terrain characteristics. Experimentally, the authors selected

the optimal number of classes for each study area, taking into account the task (generalization or a more detailed description of the surface).

**Literature Review.** M. D. Grodzynsky created a new vision of the landscape as a separate natural unit (2018) [8]. Researchers from Estonia (Villoslada M., Bunce R., Sepp K., Burdun J. et al.) had modelled construction and validation of the Environmental Stratification of Estonia using framework for habitat monitoring and climate change (2017) [19]. Monitoring ecological consequences of efforts to restore landscape-scale connectivity was held by Watson D., Doer V., Banks S. et al (2017) [2, 20]. H. Alfani was analyzing landscape changes as an indicator for environmental monitoring (2017) [1]. Monitoring and modelling landscape dynamics were showed in works of Houet T., Verburg P., Loveland T. (2010) [11]. Development of the method for monitoring the condition of forests based on the use of multispectral space survey data had researched by Bogdanov A. P., Aleshko P. A. (2016) [9, 5, 13, 14]. Determination of forestness and quantitative characteristics of forests on space images of Sentinel-2 (on the example of Shebekinsky municipal district of Belgorod region) was learned by Perepechena Yu. I., Glushenkov O. I., Korsikov R. S. (2017) [16]. Verification using long-term data in an arid grassland ecosystem, Indicators and reference values for Swiss landscapes were obtained by the researchers while using remote sensing data (Sentinel-2, PlanetScope, MODIS, MOCUPP) [3]. Some reports informed of biodiversity monitoring while using the description of all nature and social landscape components. For

example, Terrestrial Monitoring Program. Each of these works consists of some information about indicative object as specific tasks of specific objects were showed in landscape [6, 10].

**Selection of previously unsolved parts of the overall problem.** Protected areas need timely identification of changes and their assessment. Using open satellite imagery data allows obtaining information on the state of natural objects of the study area relatively quickly. In addition, the processing of this kind of data helps to form the basis for analysis and forecasting changes to improve the state of objects of interest. The possibility of processing Earth remote sensing data helps to obtain information about the status of identical objects in hard-to-reach places and where access to human activity is prohibited (swamp areas, inland desert areas, mountainous areas, etc. reserves and national parks). Depending on the spectral features of space images and resolution, it can investigatively analyze objects of different shapes, sizes, and surface roughness [17]. Experimental studies have shown the possibility of obtaining characteristics of indicator objects of environmental change using different types of satellite images and processing methods in different information programs.

**Formulation of the purpose of the article.** The main goal is to select landscape objects to identify and predict changes, definitions of methods and tools for monitoring studies.

#### **Materials & Methods.**

**Study area.** This study focused on an area of the National Nature Park (NNP) “Slobozhanskiy” (Fig. 1),

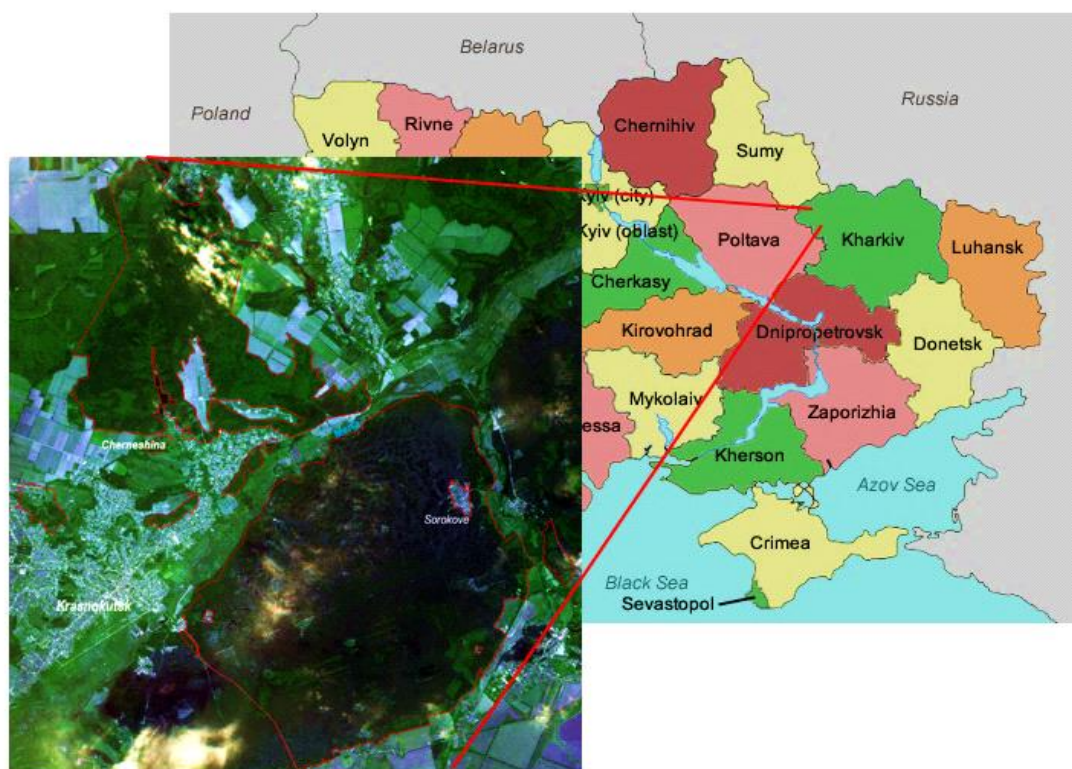


Fig. 1. Location of the study area (Sentinel-2)

Krasnokutsk district, Kharkiv region in Ukraine.

This park is situated within forest-steppe zone, but it has some objects as objects of mixed forest zone. NNP "Slobozhanskiy" is a new park. It was created in 2009. The national nature park is researched little. The greatest value of the park is the presence of ancient lakes and swamps. The area is situated within the valley of Merla river. It has some parts that have different geophysical characteristics [4, 7].

Most of the territory is located on the surface of the first over-flooded terrace. Relief is mixing of raising and lowering land.

#### Description of the Data

Using differently remote sensing data gives different contours. That is why the authors experimentally select types of data for tasks. It depends on square of research area and details of tasks [15].

Landsat 8 has 9 multispectral bands with resolution 30 m and 15 m - Panchromatic.

Sentinel 2 as Landsat 8 are open data. That is why they are used by researchers. Remote sensing data of this type consists band set with resolution – 10 m, 20 m, 30 m, 60 m.

#### Selection of indicative objects

For different type of remote sensing data characteristically some indicative object for draws (automatically) contours. But we took changing plant communities as indicator changing of landscape. And changing contour of waterbodies are indicators of changing plant communities [14].

#### Selection of methods and instruments of programs

Based on spectral characteristics bands of different remote sensing data can be used methods of creating index NDVI (The Normalized Difference Vegetation Index and NDWI (The Normalized Difference Water Index) for selection plant communities and waterbodies. But we used information about some characteristics from reconnaissance of territory, information from park chronicle (Fig. 2).

Maps, statistics information from chronicle of reserved objects, reconnaissance gives primary data for creating landscape on some moment time. GIS-systems (Geoinformational geography system) like ArcGis and QGis with moduls of SAGA are used for vectorization data, creating database of "landscape imagery".

For data of landscape's components we vectorized from topography map (relief), soil map (soil),

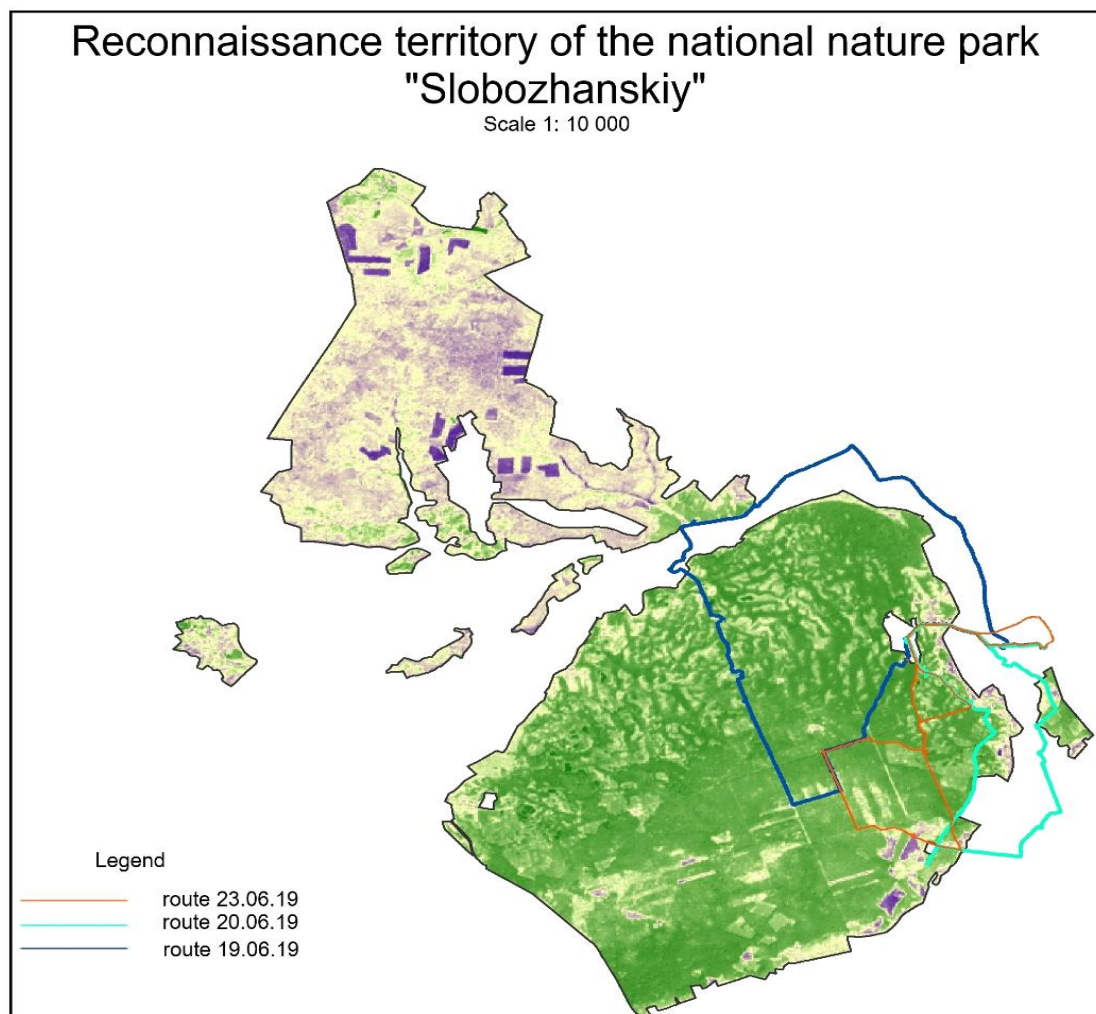


Fig. 2. Thematic imagery of reconnaissance (created with students)

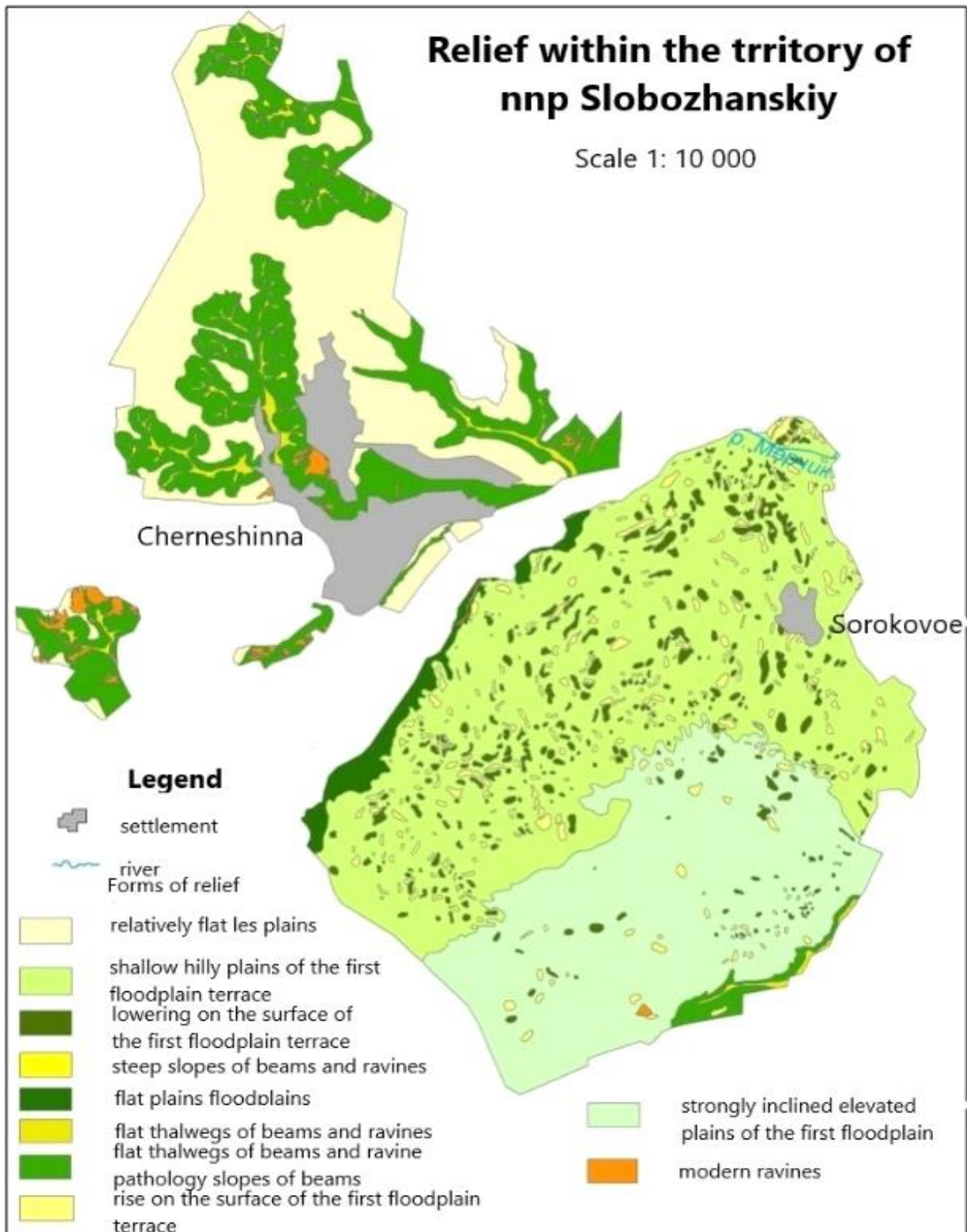
geomorphology (geology) (Fig. 3).

**Classification as method of identify indicative objects**

In the process of our research we were identifying «differently surface». There are counters of plant

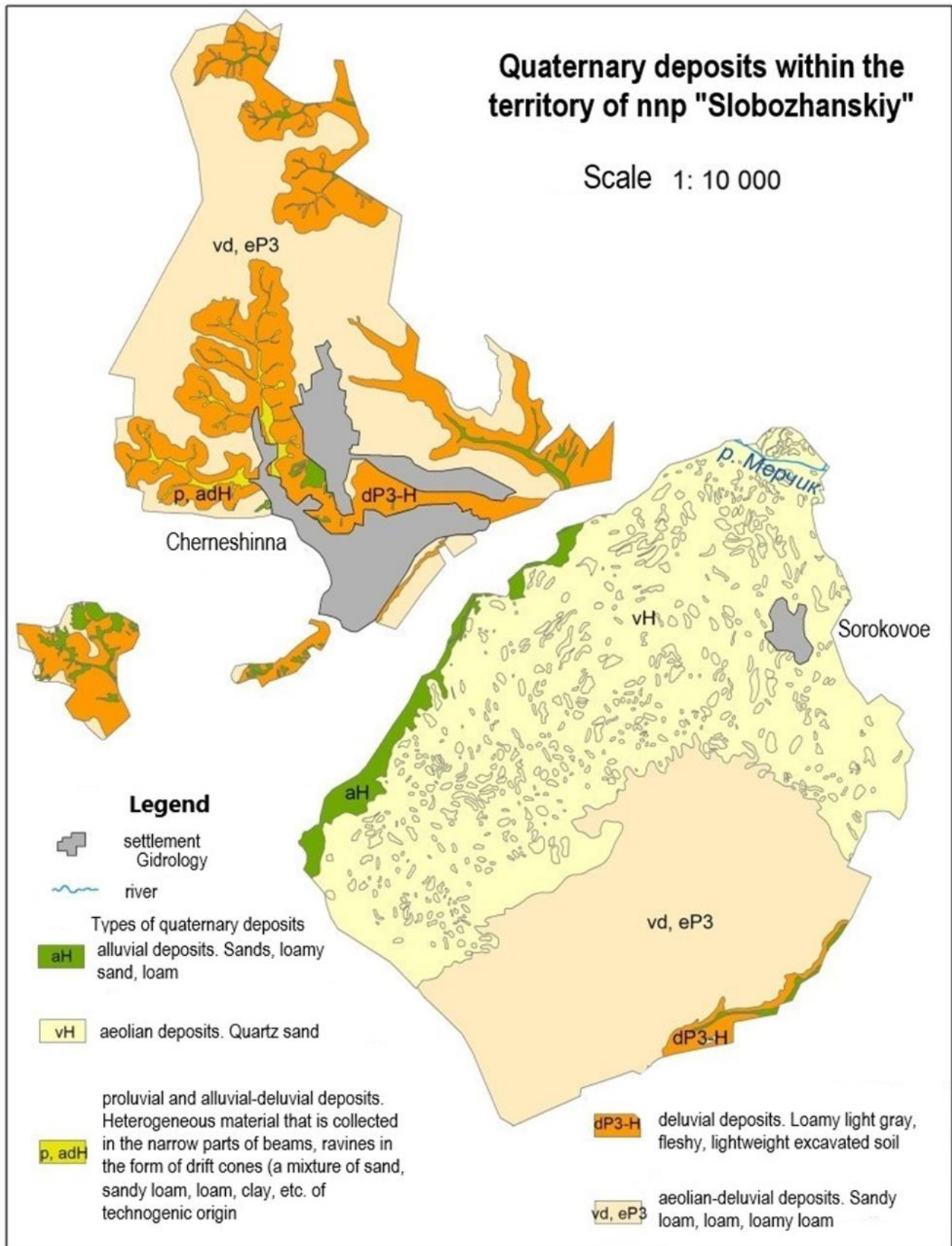
communities, open areas with sand, waterbodies. We used different methods of classification. Image classification refers to the task of extracting information classes from a multiband raster image.

The resulting raster from image classification

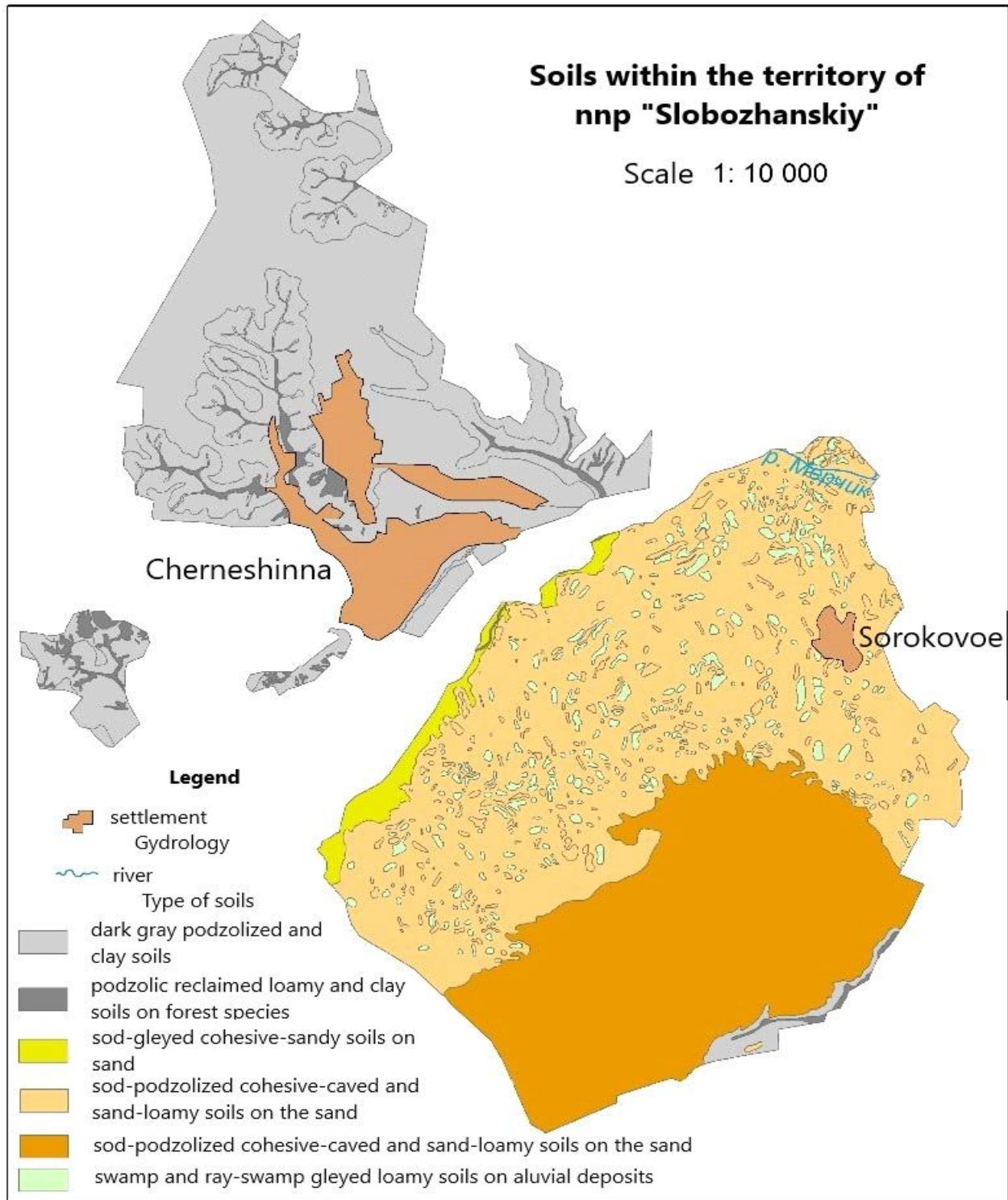


a





b



c

Fig. 3. Thematic maps: a – forms of relief, b – geomorphology, c – soil

can be used to create thematic maps.

Based on experiments we chosen supervised classification (Fig. 4). Because researcher identifies contours according to their ideas and specific knowledge after reconnaissance of the territory. Nil Armstrong said that machines are getting better, but, fortunately, there is still room for us, homo sapiens, and some reason to continue to exist. These words can be about semi-automatically classification. We

selected methods experimentally. An important feature of the classification is the representation of the landscape after reconnaissance and the ability to classify objects visually for more accurate machining.

#### Working with SAGA

Saga was used for Landsat 8 data. Thematic imagery had resolution - 30 m, after process with panchromatic band was 15 m [18].

We can use spectral interval for identification, but whole picture of landscape we don't have (table 1). "Landscape's name" consists geology and geo-

morphology, soils, plant communities. But our researching of Landsat 8 was directed to the allocation of vegetation contours (Fig. 5).

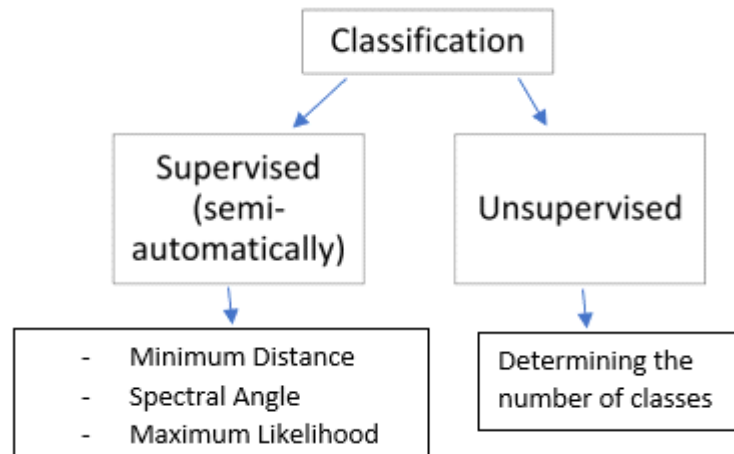


Fig. 4. Standard types of classification

Table 1

№ diapasons	Spectral intervals (mkm)	Objects, that are indicated	Objects, that aren't indicated
1	0,45-0,515	Ever greens	Swamps and waterbodies
2	0,525-0,605	Active vegetation plants	Cutting forest and water surface
3	0,63-0,69	Different types of plants, felling	Water surface
4	0,75-0,9	Open waterbodies or swamps	Hardwood

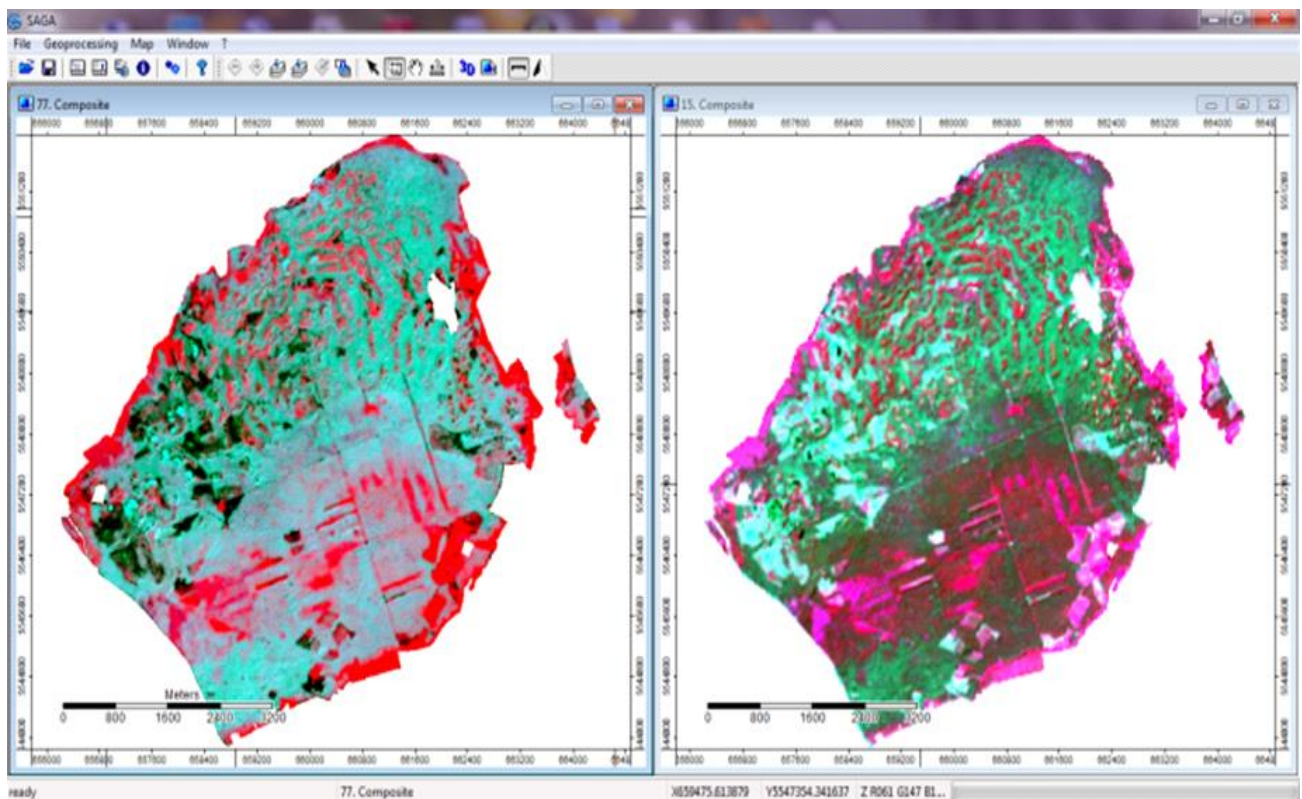


Fig. 5. Composition imagery of Landsat 8 (combination band set 5,4,3 – nature colours) with resolution 15 m (after panhrome processing)

Every identify areas was selected by researches according to landscape considerations. There are

different methods of classification. We compared "Parallelepiped" and "Spectral Angle Mapping".

### Working with program QGIS

QGIS is open program and has plugin semi-automatic classification for working with open remote sensing data (resolution 10, 20, 30, 60 m) – Sentinel-2. Algorithm of creating thematic imagery using Sentinel-2 data presented in the figure 6.

### Working with program ArcGIS

For classification imagery we need to create vision.

In ArcGIS we used two types of remote sensing data. There are Sentinel-2 and Planet Scope that have high resolution – 3 m (Planet Scope) and 10 m (Sentinel-2) (Fig. 7).

For working with Planet Scope we used unsu-



Fig. 6. Creating thematic imagery in QGIS

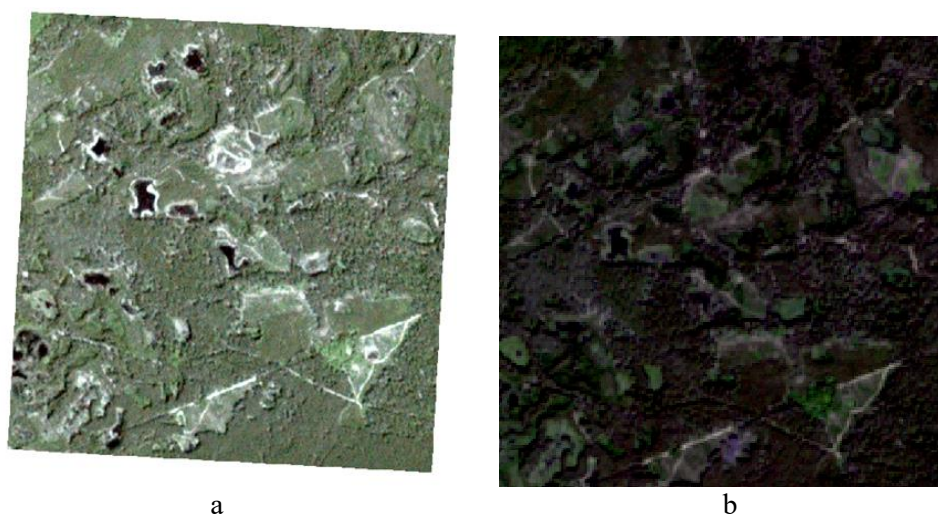


Fig. 7. Image composite: a – Planet Scope, b – Sentinel-2

pervised and supervised methods of classification.

Working with Sentinel-2 data in ArcGIS need preprocessing in QGIS (creating band-set).

For comparison, based on experiments, different remote sensing data gives more or less detail information about surface of interest. When we need more detail information`s we can use Planet Scope and as result we get mosaic structure of plant communities and other objects contours. That is why we create thematic image for small area.

### Results

For recognition of indicative landscape objects

within protected areas we experimentally selected processing methods and data (Fig. 8). Our results gave information on the possibilities of identifying the characteristics of index objects for different tasks.

We used different programs to get a more accurate image. Landsat 8 data have resolution 15, 30 m. That is why we got a generalized image.

Experimental researches show that Merla river shares two parts of park. In the north part is oak grove, in south is pine forest (Fig. 9).

We got the best results using Sentinel-2 data and Planet Scope data.

Authors used methods in programs: QGIS – Minimum Distance, Maximum Likelihood, Spectral Angle Mapper of supervised classification for Sentinel-2, ArcGis – unsupervised classification and Maximum Likelihood for Planet Scope.

Comparing methods the best results obtained using method “Minimum distance” of Sentinel-2 in QGIS (Fig. 10).

The purpose of all attempts at classification was to find the optimal number of classes for the interpretation of plant communities (Fig. 11).

Many classes made the thematic image unread-

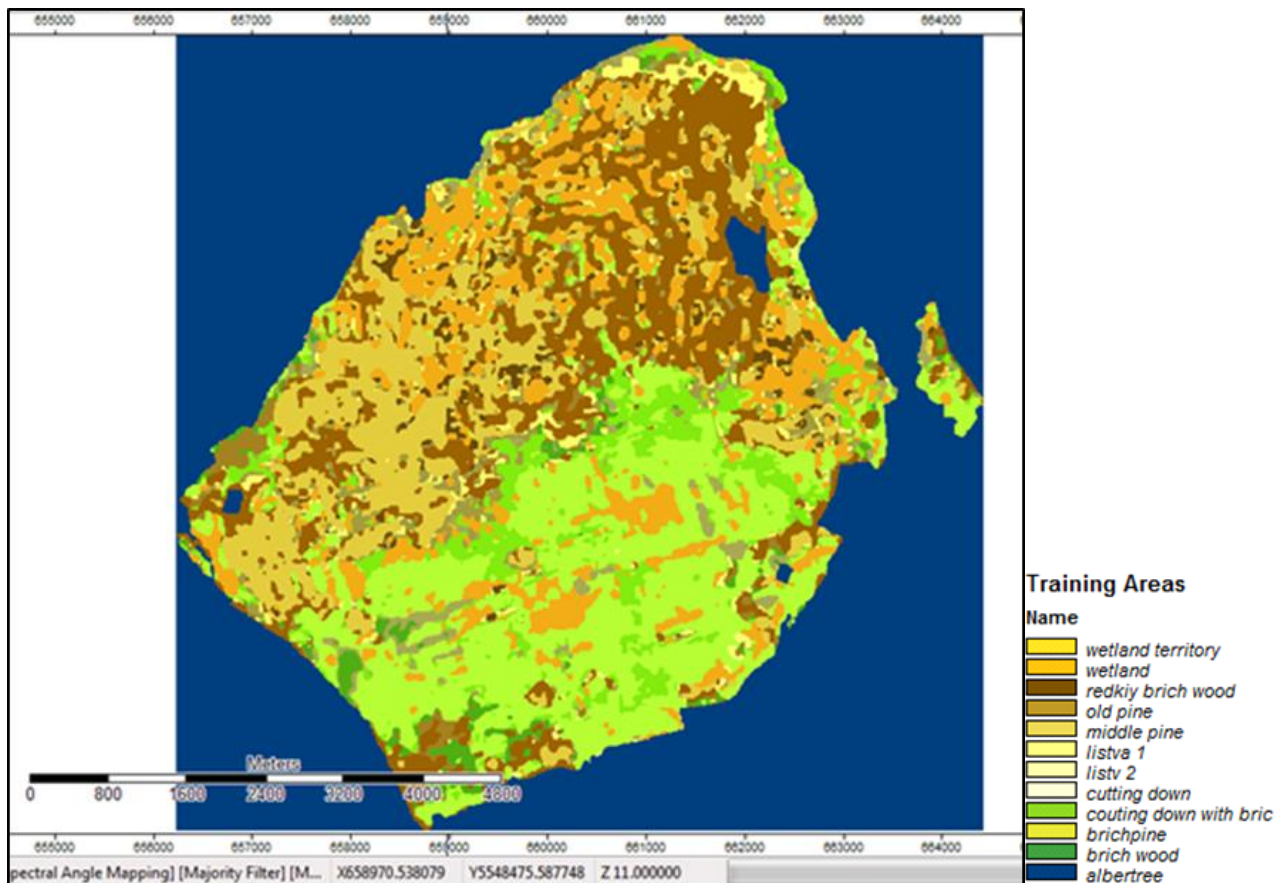
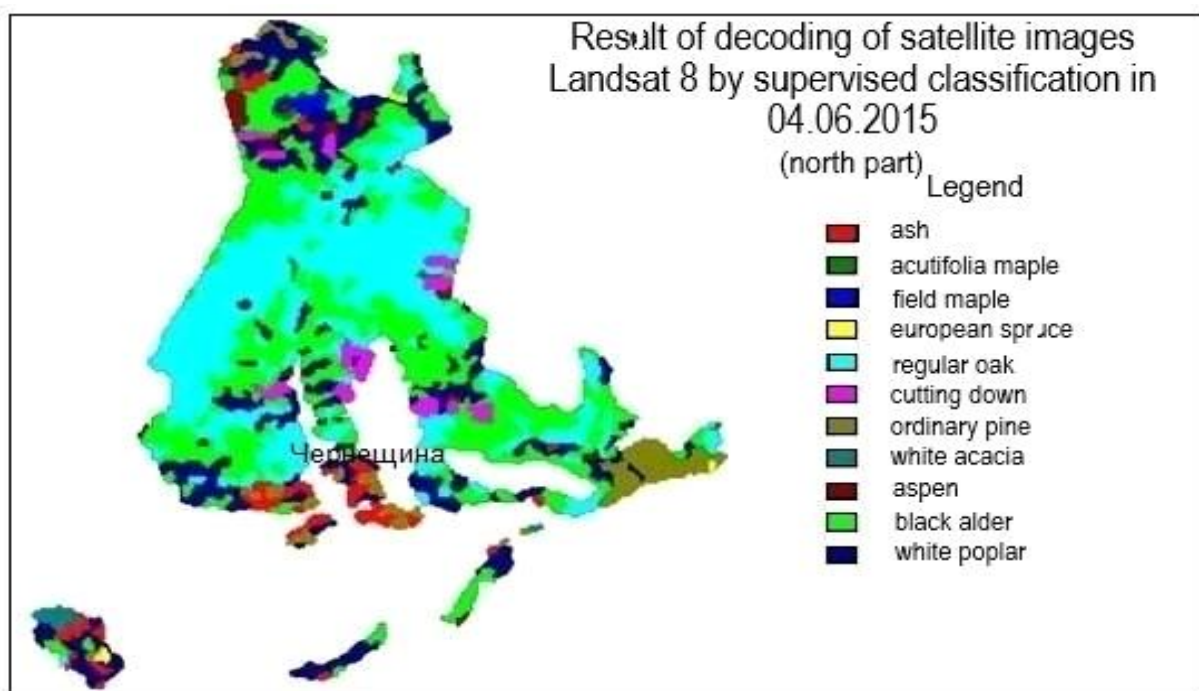


Fig. 8. Thematic imagery Landsat 8 in SAGA



a

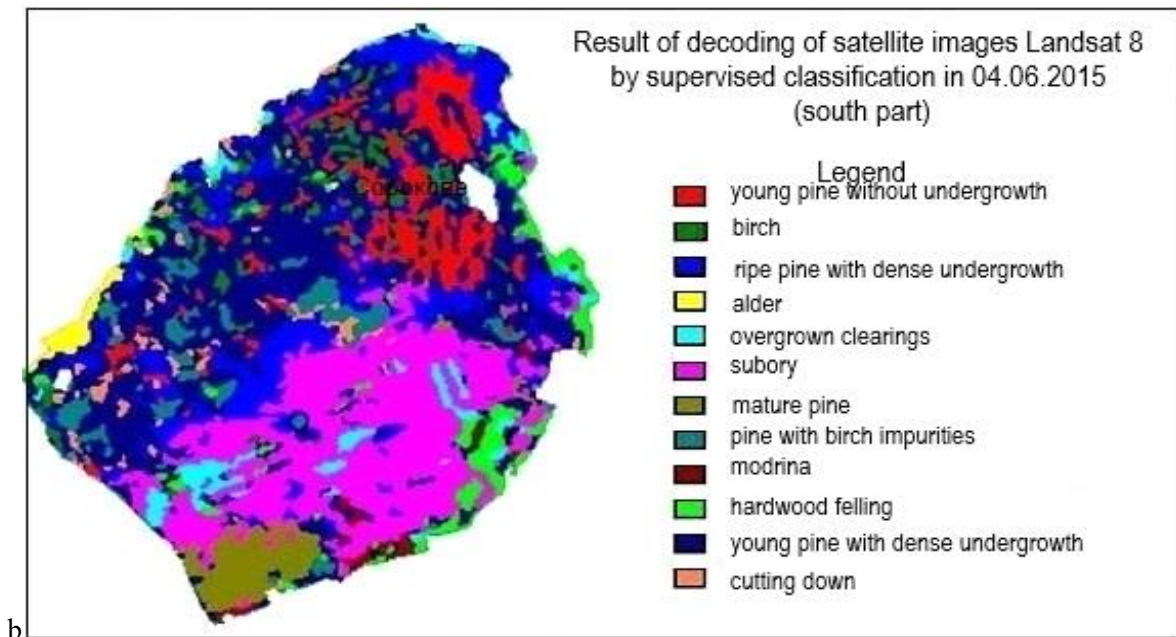


Fig. 9. Results of decoding of satellite images Landsat 8 in SAGA: a – north part, b – south part

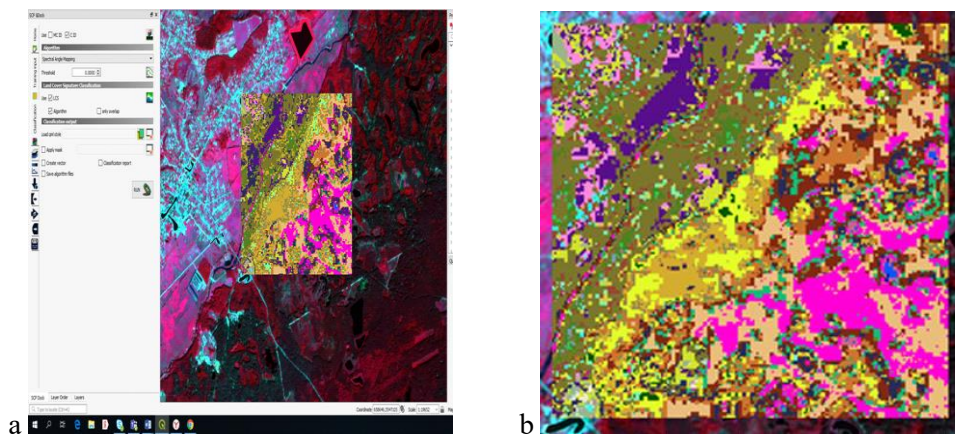


Fig. 10. Using methods of supervised classification: a – minimum distance, b – spectral angle mapper

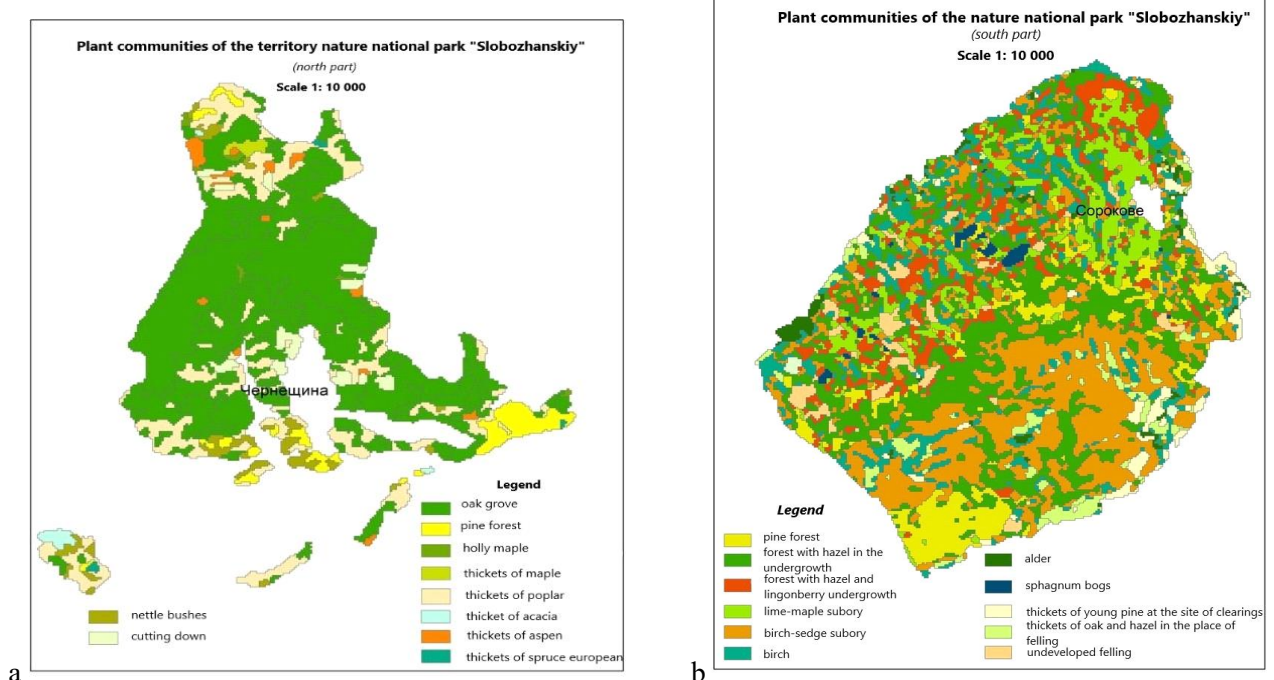


Fig. 11. Thematic imagery of plant communities in north part of NNP "Slobzhanskiy" (a) and south part (b)



Scope for small study areas have been experimentally determined.

The necessity and possibility of using modern space information not only to clarify the contours

and fill the landscape features, but also to trace the changes of wetlands that should be indicators of monitoring are investigated.

### Bibliography

1. *Alfan H. Spatial pattern of illegal activities and the impact on wildlife populations in protected areas in the Serengeti ecosystem / H. Alfan // PhD thesis. – York : University of York, 2017. <http://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/20276>*
2. *Bastian O. A framework for monitoring landscape functions: The Saxon Academy Landscape Monitoring Approach (SALMA), exemplified by soil investigations in the Kleine Spree floodplain (Saxony, Germany) / O. Bastian, R. Roder, F. James. – Dresden : Landscape and Urban planning, 2007. – Vol. 79. – Issue 2. – P. 190-199. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.005>*
3. *Бодня О. В. Індикативний ландшафтний моніторинг національних природних парків (на прикладі території НПП «Слобожанський») / О. В. Бодня, А. Ю. Овчаренко // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. – Харків, 2018. – Вип. 49. – С. 192-207. – DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-15>*
4. *Бятов А. П. Додаток до Літопису природи національного природного парку «Слобожанський» за 2012 рік / А. П. Бятов, Н. О. Бруснецова, Н. В. Сядакмедова [та ін.]. – Краснокутськ, 2013. – 136 с. – [https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v465\\_737-02/card6#Public](https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v465_737-02/card6#Public)*
5. *Богданов А. П. Разработка методики мониторинга состояния лесов на основе использования данных мультиспектральной космосъемки / А. П. Богданов, Р. А. Алешко. – Архангельск : ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», 2016. – С. 98-110. – DOI: <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2017-1-98-110>*
6. *Cheng Y. Retrieving vegetation phenology with planetscope images for a semi-arid rangeland in Kenya / Y. Cheng. Enschede, 2019. – 74 p. <http://purl.utwente.nl/essays/83720>*
7. *Горванова В. О. Особливості фізико-географічного районування в національному природному парку «Слобожанський». Умань, Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства / В. О. Горванова, Р. О. Квартенко // Збірник тез III Міжнародної конференції (11-12 жовтня 2012 р.). – Умань, 2012. – С. 96-98.*
8. *Гродзинський М. Д. Географія: стара назва нової науки чи відродження вже майже забутого / М. Д. Гродзинський // Український географічний журнал. – К., 2017. – № 2. – С. 65-68. – DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2017.02.059>*
9. *Hakan A. Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring / A. Hakan // Environmental Monitoring & Assessment. – 2017. – Vol. 189. – P. 1-10.*
10. *Hakkenberg C., Song C., Peet R. Remotely-sensed predictive models of forest composition: community-unit classification versus continuous gradient modeling / C. Hakkenberg, C. Ssong, R. Peet. – 2016. – 2016AGUFM.B52A..07H*
11. *Houet T., Verburg P., Loveland T. (2010). Monitoring and modelling landscape dynamics / T. Houet, P. Verburg, T. Loveland // Landscape Ecology. – Vol. 25. – P. 163-167.*
12. *Lambin E. (2001). Remote Sensing and Geographic Information Systems Analysis / E. Lambin // International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. – Louvain-la-Neuve. – P. 13150-13155.*
13. *Landscape monitoring using remote sensing NAU students in the Department of Geography, Planning, & Recreation study the desert. <https://nau.edu/gpr/landscape-monitoring-using-remote-sensing>*
14. *Овчаренко А. Ю. Можливості ГІС-технологій в аспекті здійснення крупномасштабного ландшафтного картографування і польових практиках студентів-географів / А. Ю. Овчаренко // Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії» (на сайті Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського). – Харків, 2019. – Вип. 30. – С. 70-80. – DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-08>*
15. *Овчаренко А. Ю. Огляд досліджень індикативних об'єктів ландшафтного моніторингу з використанням даних ландшафтного моніторингу з використанням даних ДЗЗ / А. Ю. Овчаренко // Географічні дослідження: історія сьогодення, перспективи: матеріали щорічної міжнародної наукової конференції студентів і присвяченій пам'яті професора Г. П. Дубинського (11 квітня 2019 року). – Харків, 2019. – Вип. 12. – С. 39-44.*
16. *Перепечина Ю. И. Определение лесистости и количественных характеристик лесов по космическим снимкам Sentinel-2 (на примере на примере Шебекинского муниципального района Белгородской обл.) / Ю. И. Перепечина, О. И. Глуценков, О. И. Корсинов // Дистанционные методы в лесном хозяйстве. – 2017. – № 4. – С. 85-93. <https://cyberleninka.ru/>*
17. *Somers B. Endmember Library Approaches to Resolve Spectral Mixing Problems in Remotely Sensed Data: Potential, Challenges, and Applications / B. Somers, L. Tits, D. Roberts [and others] // Data Handling in Science and Technology. – Leuven, 2016. – Vol. 30. – P. 551-577*
18. *Tretyakov O. S. Features of interpretation of plant association of national natural park «Slobozhanskiy» using Landsat 8 satellite data / O. S. Tretyakov, O. V. Bodnia, M. O. Balynska et al // Problemy bezpererвноїi geografichnoyi osvity i kartografiyi: Zbirnyk naukovykh pracz. – Kharkiv, 2019. – Vol. 21. – P. 73-79.*



19. Villoslada M. *A framework for habitat monitoring and climate change modelling: construction and validation of the Environmental Stratification of Estonia* / M. Villoslada, R. Bunce, K. Sepp et al // *Regional Environmental Change*. – 2017. – Vol. 2. – P. 335-349. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1002-7>
20. Watson D. *Monitoring ecological consequences of efforts to restore landscape-scale connectivity* / D. Watson, V. Doeer, S. Banks et al // *Biological Conservation*. – 2017. – Vol. 206, 201-209. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.032>

UDC 9.502.4:502.5/8

**Alina Ovcharenko,**

PhD Student (Geography), V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [alina\\_06ov@ukr.net](mailto:alina_06ov@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8500-4152>

## RECOGNITION OF INDICATIVE LANDSCAPE OBJECTS WITHIN PROTECTED AREAS

**Formulation of the problem.** In this article the author describes monitoring of landscape objects within protected area. We created 'image of landscape' from remote sensing data. The developed methodology allows to obtain remotely information about visual changes, to analyze and predict the further development of landscapes of the facies level. It is difficult to investigate nature conservation areas at the facies level in areas with plant diversity. Field methods are time-consuming and labor-intensive, but changes can occur frequently. We offer a methodology for identifying indicative landscape objects by creating an image and its visualization using high-resolution satellite imagery decoding Sentinel-2 (resolution 10 m) and Planet Scope (resolution 3 m). This method with using satellite imagery of study makes it possible to gain access to the terrain that is accessible in hard-to-reach places, namely in swampy areas, in dense forest impassable territories and others.

**The purpose of the article.** The main goal is creating methodic for recognition indicative objects of landscape within protected territories through the appearance of visual changes by the cameral method.

**Materials and methods.** We have improved the method of processing satellite images to identify indicative objects of changes in landscapes at the facies level. We used the method of controlled classification to obtain "a picture" of the landscape in office conditions, carried out an analysis of comparison on the ground and identified objects of interest. Based on experiments we chosen supervised classification and methods for different resolution of remote sensing data.

**Results and scientific novelty.** We have changed the traditional landscape study process and approach in our work. We created a landscape rendering model and then carried out work directly on the ground, comparing the characteristics. this allows you to explore the territory at a distance, in hard-to-reach places and in protected areas, which allows a person to analyze information at a distance, predict and take further measures to preserve landscapes and individual objects.

**Practical significance.** Identification of indicative objects within protected areas allows monitoring changes in landscapes, analyzing and taking measures to preserve them. Systematization of the entire analysis during processing allows you to identify changes in time even in hard-to-reach regions and quickly receive information remotely. The analyzed data allow designing a successful combination of the normal functioning of nature and human activity.

**Keywords:** remote sensing data, plant communities, landscape, indicative landscape objects, national nature park.

### Reference

1. Alfan H. (2017). *Spatial pattern of illegal activities and the impact on wildlife populations in protected areas in the Serengeti ecosystem*. York, PhD thesis, University of York. <http://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/20276>
2. Bastian O., Roder M., James F. (2007). *A framework for monitoring landscape functions: The Saxon Academy Landscape Monitoring Approach (SALMA), exemplified by soil investigations in the Kleine Spree floodplain (Saxony, Germany)*. Dresden, *Landscape and Urban planning*, 79, 2, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.005>
3. Bodnya O. V., Ovcharenko A. Yu. (2018). *Indicative landscape monitoring of national natural parks (in the application of the territory of NPP "Slobozhanskiy")*. Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 49, 192-207. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-15>

4. Biatov A. P., Brusenczova N.O., Saidaxmedova N.B. et al. (2013). Appendix to the Annals of Nature of the Slobozhansky National Nature Park for 2012. Krasnokutsk, 136. [https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v465\\_737-02/card6#Public](https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v465_737-02/card6#Public)
5. Bogdanov A. P., Aleshko R. A. (2016). Development of a method for monitoring the state of forests based on the use of multispectral space survey data. Arhangelsk, FBU «Severnyj nauchno-issledovatel'skij institute lesnogo hozjajstva», 98-110. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2017-1-98-110>
6. Cheng Y. (2019). Retrieving vegetation phenology with planetscope images for a semi-arid rangeland in Kenya. Enschede, 74. <http://purl.utwente.nl/essays/83720>
7. Goryanova V.O., Kvarthenko R.O. (2012). Special features of the physical and geographical area in the national natural park "Slobozhansky". Uman, Ecology – the way of harmonizing the common nature and suspension. (11-12 october 2012.), 96-98.
8. Grodzynskij M.D. (2017). Geography: the old name of the new science and the revival of the forgotten. K, Ukrainian Geographical Journal, 2, 65-68. <https://doi.org/10.15407/ugz2017.02.059>
9. Hakan A. (2017). Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring. Environmental Monitoring & Assessment. 189, 1-10.
10. Hakkenberg C., Song C., Peet R. (2016). Remotely-sensed predictive models of forest composition: community-unit classification versus continuous gradient modeling. 2016AGUFM.B52A..07H
11. Houet T., Verburg P., Loveland T. (2010). Monitoring and modelling landscape dynamics. Landscape Ecology, 25, 163-167.
12. Lambin E. (2001). Remote Sensing and Geographic Information Systems Analysis. Louvain-la-Neuve, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 13150-13155.
13. Landscape monitoring using remote sensing NAU students in the Department of Geography, Planning, & Recreation study the desert. <https://nau.edu/gpr/landscape-monitoring-using-remote-sensing>.
14. Ovcharenko A. Yu. (2019). Mobility of GIS-technologies in the aspect of the development of large-scale landscape mapping and practical practices of geography students. Kharkiv, «Problemy bezpererвної heohrafichnoyi osvity i kartohrafiyi» (na sayti Natsional'noyi biblioteky Ukrayiny imeni V. I. Vernads'koho), 30, 70-80. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-08>
15. Ovcharenko A. Yu. (2019). Review of the study of indicative projects of landscape monitoring using a landscape monopolist using remote sensing technologies. Kharkiv, Geographical research: the history of today, prospects: materials of the international science conference of students and the commemoration of the memory of Professor G.P. Dubinsky (11 April 2019), 12, 39-44.
16. Perepechena Ju. I., Glushenkov O. I., Korsikov O. I. (2017). Determination of forest cover and quantitative characteristics of forests using Sentinel-2 space images (on the example of na primere of the Shebekinsky municipal district of the Belgorod region). Remote methods in forest, 4, 85-93. <https://cyberleninka.ru/>
17. Somers B., Tits L, Roberts D., Werherley E. (2016). Endmember Library Approaches to Resolve Spectral Mixing Problems in Remotely Sensed Data: Potential, Challenges, and Applications. Leuven, Data Handling in Science and Technology, 30, 551-577.
18. Tretyakov O.S., Bodnia O.V., M.O. Balynska et al. (2015). Features of interpretation of plant association of national natural park «Slobozhanskiy» using Landsat 8 satellite data. Kharkiv, Problemy bezpererвної geohrafichnoyi osvity i kartohrafiyi: Zbirnyk naukovyx pracz, 21, 73-79.
19. Villoslada M., Bunce R., Sepp K. et al (2017). A framework for habitat monitoring and climate change modelling: construction and validation of the Environmental Stratification of Estonia. Regional Environmental Change, 2, 335-349. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1002-7>
20. Watson D., Doeer V., Banks S. et al (2017). Monitoring ecological consequences of efforts to restore landscape-scale connectivity. Biological Conservation. 206, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.032>

UDC 556.535

**Svitlana Ivanivna Reshetchenko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [s.reshetchenko@karazin.ua](mailto:s.reshetchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

**Sviatoslav Stanislavovych Dmitriiev,**

Bachelor, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [xa13278062@student.karazin.ua](mailto:xa13278062@student.karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>;

**Nadiia Ivanivna Cherkashyna,**

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [n.cherka@gmail.com](mailto:n.cherka@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

**Liudmyla Dmytrivna Goncharova,**

PhD (Geography), Associate Professor, Odessa State Environmental University,  
5-b Ak. Glushko Av., apt. 92, Odessa, 65113, Ukraine,  
[goncharova.luda.50@gmail.com](mailto:goncharova.luda.50@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6340-2424>

## CLIMATE INDICATORS OF CHANGES IN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS (A CASE OF THE PSYOL RIVER BASIN)

**С. І. Решетченко, С. С. Дмитрієв, Н. І. Черкашина, Л. Д. Гончарова. КЛІМАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯК ІНДИКАТОРИ ЗМІН ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИКЛАДІ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПСЕЛ.** У статті подається аналіз впливу кліматичних показників на основні гідрологічні характеристики на прикладі басейну річки Псел в межах України. Розробка національної кліматичної програми та відповідність Угоді про асоціацію між Україною та ЄС спрямовані на довготермінові заходи з адаптації до змін клімату, де передбачено розроблення законодавчої бази у сфері охорони довкілля, галузевих стратегій щодо покращення якості повітря, води. Ці заходи потребують ідентифікації впливу кліматичних факторів на гідрологічні характеристики водних об'єктів будь-якої території з метою їх охорони, покращення та комплексного підходу до раціонального управління водними ресурсами.

Сучасні зміни кліматичних умов на території України характеризуються локальністю та стрімкістю: зростання кількості аномальних атмосферних явищ, частоти появи посух, суховійів, що може спричинити за попередніми оцінками зменшення водних ресурсів, зміни внутрішнього річного перерозподілу температури води та стоку на фоні зростання термічних ресурсів території. Основними завданнями дослідження є визначення взаємозв'язків між кліматичними та гідрологічними показниками басейну річки Псел та можливих їх проєкцій. Аналіз кліматичних змін у басейні річки Псел вказує на зменшення витрат води як у головній річці басейну, так і у її основних притоках. Окрім змін температурно-вологісного режиму, причинами цього процесу стали зміщення, що відбулися у характері внутрішньорічного розподілу стоку. Протягом кінця ХХ – початку ХХІ століття частка весняного водопілля знизилася за рахунок зменшення тривалості періоду льодових явищ та відповідного зменшення потужності снігового покриву на річках. Як наслідок, найважливіша складова річного стоку річок стала стрімко зменшуватися, і на фоні переважного зменшення кількості атмосферних опадів, роль підземних вод у формуванні водного стоку має зростати. Особливо це актуально для середніх та малих річок, які зазнають значного антропогенного навантаження: зарегульованість русел, створення штучних озер, їх обміління.

Дослідження впливу змін кліматичних показників на гідрологічні характеристики дає можливість визначити референційні умови та класи екологічного стану річок за умов антропогенного навантаження на тлі подальших змін кліматичних показників, що матимуть різноспрямовані тенденції.

**Ключові слова:** поверхневі води, внутрішні води, річковий басейн, моніторинг, аналіз річкових басейнів, клімат, зміни клімату, антропогенне навантаження.

**С. И. Решетченко, С. С. Дмитриев, Н. И. Черкашина, Л. Д. Гончарова. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАК ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА РЕКИ ПСЕЛ.** В статье представлен анализ влияния климатических показателей на основные гидрологические характеристики на примере бассейна реки Псел в пределах Украины. Работа над национальной климатической программой и соответствие Соглашению об ассоциации между Украиной и ЕС направлены на долгосрочные мероприятия по вопросам адаптации к изменениям климата, где предусмотрены проекты законодательной базы в сфере охраны окружающей среды, отраслевых стратегий с целью улучшения качества воды, воздуха. Эти мероприятия требуют идентификации влияния климатических факторов на гидрологические характеристики водных объектов разной территории с целью их охраны, улучшения и комплексного подхода рационального управления водными ресурсами.

Современные изменения климатических условий на территории Украины характеризуются локальностью и резкостью: увеличивается количество аномальных атмосферных явлений, частота засух, суховеи, которые могут способствовать за предыдущими оценками уменьшению водных ресурсов, изменениям внутригодового перераспределению температуры воды и стока на фоне увеличения температурных ресурсов территории. Основными задачами исследования являются взаимосвязи между климатическими и гидрологическими показателями бассейна реки Псел, а также их возможные проекции. Анализ климатических изменений в бассейне реки Псел показывает уменьшение расхода воды как в основном русле бассейна, так и в его притоках. Кроме изменений температурно-влажностного режима территории, причинами этого процесса являются сдвиги, которые наблюдаются в годовом внутреннем распределении стока.

В течение конца ХХ – начала ХХІ века часть весеннего наводнения уменьшилась за счет уменьшения продолжительности ледниковых явлений и соответственно интенсивности снежного покрова на реках. Как следствие, главная составляющая годового стока рек стала стремительно уменьшаться, и на фоне преобладающего уменьшения количества атмо-

сферных осадков, значение подземных вод в формировании водного потока должно увеличиваться. Особенно это важно для средних и малых рек, которые страдают от антропогенного давления: зарегулированности русел, создания искусственных озер, их обмеления.

Исследования влияния изменений климатических показателей на гидрологические характеристики дают возможность определять референтные условия и классы экологического состояния рек при условии антропогенного давления на фоне дальнейших изменений климатических показателей, которые имеют разнонаправленные тенденции.

**Ключевые слова:** поверхностные воды, внутренние воды, речной бассейн, мониторинг, анализ речных бассейнов, климат, изменения климата, антропогенная нагрузка.

**Formulation of the problem.** Changes in the global climate system [18] have become apparent not only to scientists but also to government officials (Paris Agreement, 2015, UN Climate Negotiations, 2018, Katowice, Poland), having focused their attention on global climate policy, implemented at the national and regional levels. The concept of implementing state policy in the field of climate change for the period up to 2030 [15] aims to develop a national climate program, to prevent climate change and reduce the risks associated with it. Changes in climatic conditions in Ukraine are characterized by locality and rapidity: growth of abnormal atmospheric phenomena, frequency of droughts, floods, changes in the internal annual redistribution of air and water temperatures, runoff and precipitation [3, 5, 14].

The Association Agreement between Ukraine and the EU is aimed at long-term adaptation measures to climate change, providing for the development of legislation in the field of environmental protection, sectoral strategies to improve air and water quality. The EU Water Framework Directive [1, 19-20] aims to protect all waters, promote the sustainable use of water in the long-term protection of water resources, improving the aquatic environment and an integrated approach to sound water management. Directive 2007/60 / EC of the European Parliament and of the Council [21] on the assessment and management of floods is aimed at identifying river basins and coastal zones that may be in the floodplain.

According to the EU Water Framework Directive and the Association Agreement between Ukraine and the EU on the territory of Ukraine (2016) there is a basin principle of water resources management, which establishes nine river basin districts: the Dnieper, Don, Vistula, Dniester, Danube, Southern Bug, rivers of the Black Sea coast, Azov region and Crimea. By 2024, the country has pledged to present nine management plans for certain areas.

The country's water policy is aimed at addressing the threats posed by anthropogenic pollution, climate and hydro-morphological changes in water bodies. Research on quantitative and qualitative indicators of anthropogenic impact on water bodies can be used to fulfill the main commitments made by Ukraine within the signed documents and programs, in particular, to develop a strategy for envi-

ronmental management of water resources and its implementation in practice.

**Analysis of recent research and publications.** Studies of possible changes in river runoff caused by global anthropogenic warming began in the 80s of the last century and remain today one of the main tasks of hydrology [2, 4, 6, 10]. Using mathematical models of atmospheric circulation allows us to obtain generalized calculations of the average global and regional air temperature, characterized by significant errors in case of different models [6]. According to the established projections, runoff redistribution is fixed within the year: there are winter and summer hydrological seasons. In winter high runoff of rainwater is expected from November to April with maximum in March; summer (May-October) is characterized by lows in July-August.

Changes in water resources of Ukraine in the context of global warming are presented in [4, 6, 10], where there is a tendency of water resources and runoff reduction by 25% under conditions of thermal resources increase in the climate of the territory. Variability of weather conditions in the country occurs in accordance with changes in atmospheric processes in the Atlantic-European sector [3,5,13].

Hydrological regime, hydroecological condition of the rivers Psyol and Vorskla are studied in [7-9, 11], assessing water quality by the method of ecological assessment of water quality (water pollution index) and hazard criteria (method of the "F.F. Erisman Research Institute of Hygiene"). Landscape-hydrological analysis of water regime of the country's rivers is presented in [6].

It is noted that climate is one of the main factors determining formation of the hydrological regime of water bodies.

Zoning of the catchment area of the Dnieper river by hydrological and hydrochemical characteristics during a minimal runoff period is presented in [2], where the Psyol river basin is referred to 7 districts with minimal runoff in August-September with hydrocarbonate and calcium-sodium chemical type of water.

Based on the main provisions of the national environmental policy of Ukraine on the use of water resources [12] and the implementation of European principles of the Water Framework Directive 2000/60 / EC (ERVD) [1, 19], the study of changes in hydrological regime of rivers is of practical importance for sustainable management.

**Selection of previously unsolved parts of the general problem.** There are different approaches to assessing the impact of climate change on hydrological characteristics of objects and introduction of water resources zoning. The applied value here is to identify general patterns in the course of hydrological phenomena. They are aimed at preventing degradation of water resources, protecting them, developing environmental approaches in calculations and forecasts of reducing water pollution.

Climatic factors are decisive in the internal annual distribution of runoff. They affect the hydroecological status of water resources and require further research, as well as expansion of monitoring measures.

**Formulation of the purpose of the article.** The purpose of the study is to determine relationship between climatic and hydrological parameters of the river Psyol basin.

Research methods are presented by statistical and cartographic analysis (correlation analysis method). The initial information is the results of observations contained in the State Climate Cadastre and the State Water Cadastre for the Dnieper Valley for the period (1914) 1936-2019 and 1961-2019, respectively, as well as data on water levels obtained from the collection of papers "Information on the level water in the Dnieper basin for 1914-1930" and water cadastres for the period 1931-1936.

Climatic indicators are represented by average monthly, monthly and annual, maximum, minimum values of air temperature, as well as monthly, annual precipitation at meteorological stations in Sumy, Gadiach, Poltava, Kobeliaky for the period 1968-2019.

The hydrological characteristics of the Psyol river basin are the average monthly water level in the river, monthly, annual maximum and minimum water levels for the period 1914-2017, water flow for twelve months and a year, average monthly and maximum water temperatures in the river for the period 1936 (1937) – 2017.

Presentation of the main research material. Dynamics of climatic and hydrological values is analysed by means of indicators' averaging for a month or for a year. Since meteorological and hydrological indicators are a series of random variables, we consider them part of the general totality.

A correlation coefficient (the Fisher's correlation coefficient) is used to mathematically substantiate the degree of relationship between air and water temperature, as well as between rainfall and river water level, calculated for the areas where the hydropost and a meteorological station are as close as possible - Sumy, Gadiach, a meteorological station of Kobeliaky – Zapsillya hydropost. The value of the coefficient ranges from -1 to 1. If the value of

the coefficient is below zero, the relationship is inverse, if between 0 and 0.2 – almost absent, 0.2 – 0.5 – weak, 0.5 – 0.7 – medium, 0.7 – 1.0 – strong.

To verify the significance of the Fisher's correlation coefficients in mathematical statistics, the Student's test is used, calculated by formula (1):

$$t^* = r / \sigma_r, \quad (1)$$

where  $t^*$  is the Student's t test,  $r$  is the correlation coefficient,  $\sigma_r$  is the standard error.

As WMO recommends to consider the standard climatic norm for the period 1961-1990, the climatological and hydrological statistical series are divided into two samples: 1961-1990 and 1991-2019, establishing "basic" and modern conditions, identifying the trends in their changes.

The main visual indicators in climatology are long-term series of average monthly temperatures in January and July. The trend of temperature "shift" has become noticeable over the last decades, when the coldest month gradually becomes February, and the warmest - August. The air temperature is characterized by a fairly high degree of dispersion compared to many other indicators, as it distinguishes the state of atmospheric air, which is extremely variable (Fig. 1). The tendency to its increase by 0.8 °C has been established for decades at meteorological stations of the studied area (Table 1).

Analysis of the average air temperature for the two periods of 1961-1990, 1991-2019 indicates an increase in air temperature in January and July at all weather stations (Fig. 2). In winter, intense warming was detected at the Sumy meteorological station (by 3.0 °C), and in summer - at the Gadiach meteorological station (by 2.0 °C).

Spatial distribution of temperature indicators is presented in Fig. 3. There was an increase in air temperature throughout the basin in January in the south-western direction, reaching maximum levels in the lower parts of the river. There is a latitudinal pattern of air temperature growth in July where maximum values are concentrated in the central part of the river basin.

The analysis of seasonal temperature indicators also established a tendency to its growth with different intensity at all meteorological stations of the studied territory (Fig. 4).

A generalized assessment of climate change can be obtained by analyzing the average annual air temperatures which smooth out all intra-annual fluctuations (Fig. 5). On the example of air temperature dynamics at the meteorological station Gadiach we can speak about the significant amplitudes of air temperature where it increased by 1.3 °C during 1991-2019. At the meteorological stations Poltava and Kobeliaky this indicator was 1.1-1.2 °C, while at the meteorological station Sumy – 0.9 °C.

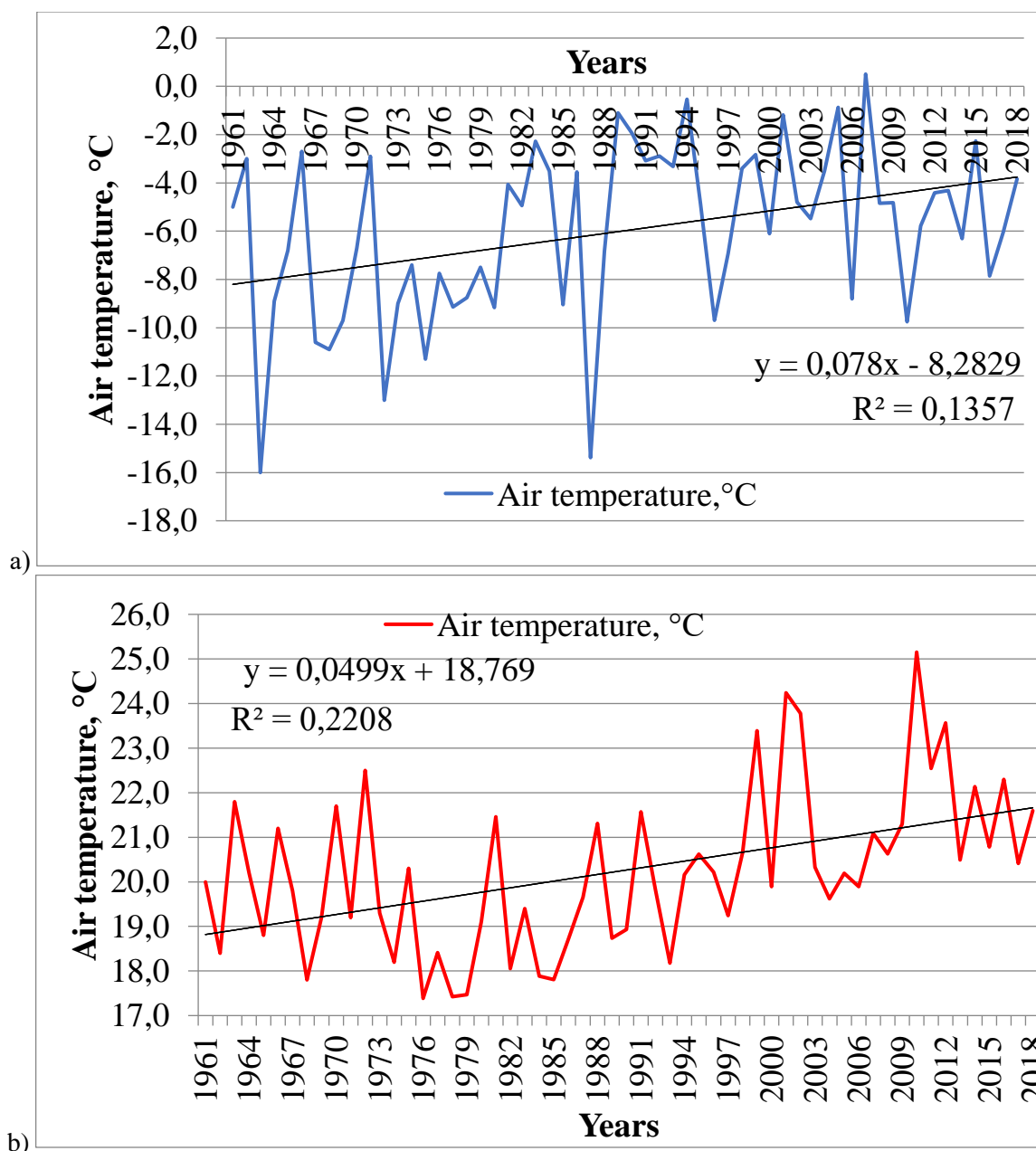


Fig. 1. Average annual air temperature in January (a) at the meteorological station Gadiach in July (b) for the period 1961-2019

Table 1

Average annual air temperatures in January (July) for 1961-2019

Meteorological station	Average air temperature in January, °C		Average air temperature in July, °C	
	Tendency	Value	Tendency	Value
Sumy	Increase	0.8°C in 10 years	Increase	0.8°C in 10 years
Gadiach	Increase	0.8°C in 10 years	Increase	0.8°C in 10 years
Poltava	Increase	0.7°C in 10 years	Increase	0.7°C in 10 years
Kobeliaky	Increase	0.8°C in 10 years	Increase	0.8°C in 10 years

Considering the fact that under international agreements the countries have committed to keep the temperature rise in the range of 1.5-2.0 °C, most weather stations are already approaching a critical level at the local level in the valley of the river Psyol.

Precipitation affects water content of rivers. Investigating the changes in the annual amount of precipitation at the meteorological stations of Sumy and Gadiach, a tendency to their decrease was revealed (Fig. 6).

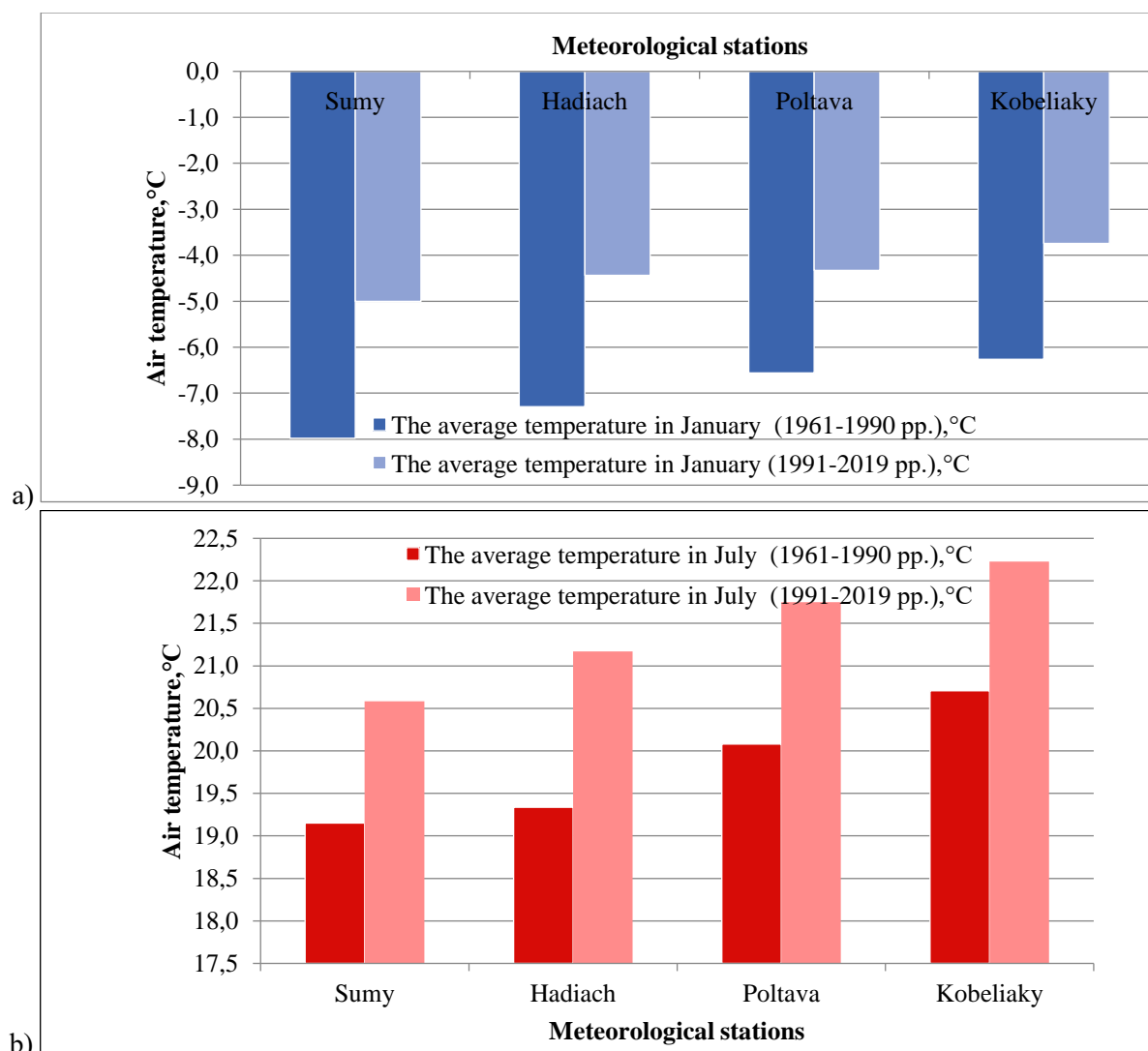


Fig. 2. Average monthly temperatures in January (a), July (b) for the periods 1961-1990, 1991-2019

At the meteorological stations Poltava and Kobeliaky they remained almost unchanged for the period 1991-2019. One of the precipitation features of the dynamics is their fluctuating nature every 2-3 years.

Water levels and water consumption are important among the hydrological indicators of rivers. Given that the Psyol river is one of the longest left tributaries of the Dnieper, it is inferior to the catchment area of the majority of Ukrainian watercourses, flowing between two significant rivers – the Vorskla and Sula. Their basins limit it from southeast and northwest, respectively. In addition to the Psyol river itself, this study analyzes hydrological characteristics of its tributaries: the Khorol (hydropost Myrhorod) and Govtva (hydropost Mykhnivka).

According to the classification of Zaikov, the Psyol river is a typical representative of the Eastern European type, characterized by a pronounced spring flood which brings from 60 to 70% of the annual river runoff. Spring floods in March-April

are clearly noticed at all hydroposts in the Psyol river basin. During May and August water consumption in rivers decreases and reaches a minimum (limited) in mid-August where the main sources of food are groundwater and precipitation. It is the presence of a significant amount of precipitation in June and July that explains the low tide only in August (Fig. 7).

Water level is generally the same as water flow as it is directly related to it: the highest level is in March-April during the spring flood.

The dynamics of the water level in the rivers Psyol I, Khorol and Govtva for 1914 (1936) - 2017 is characterized by three periods – two relatively high-water (1914-1933, 1983-2017) and one relatively low-water – 1934-1982. (Fig. 8).

Having analyzed the annual water flow and water level fluctuations in the Psyol river and its main tributaries, we have found a tendency to decrease from May to August. Due to autumn precipitation water level rises while in winter it is almost stable. In winter the rivers flow into the glacier. Annual wa-

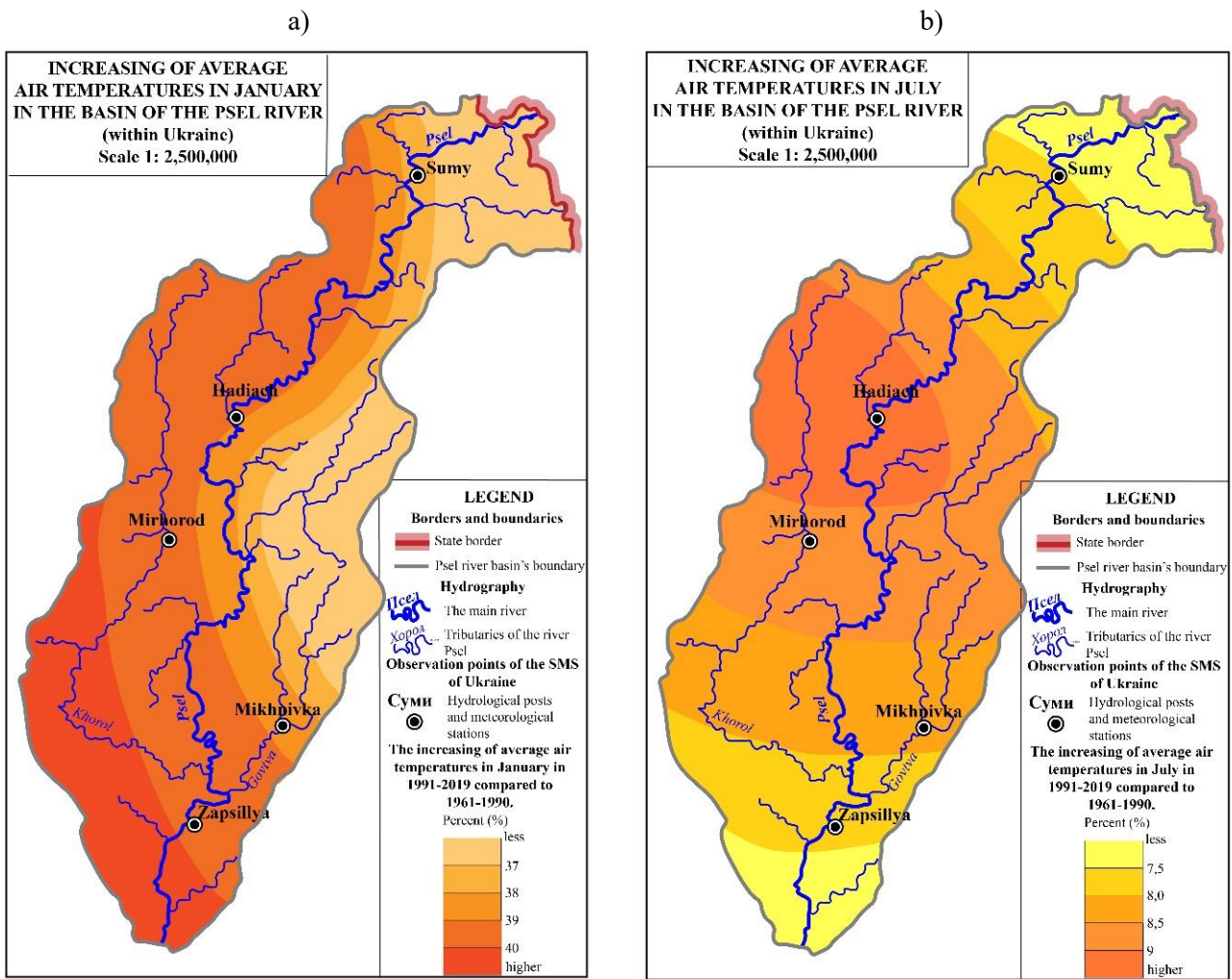


Fig. 3. Average monthly air temperature in January (a), July (b) in the basin of the river Psel in 1991-2019 in relation to 1961-1990

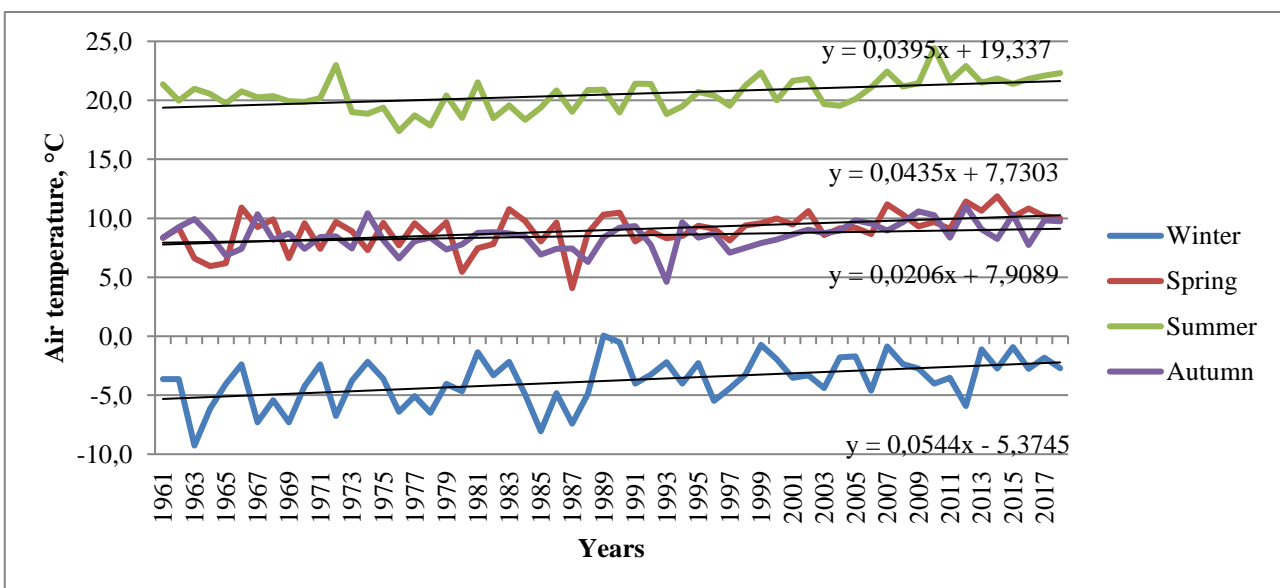


Fig. 4. Dynamics of seasonal air temperatures at the weather station Kobeliaky



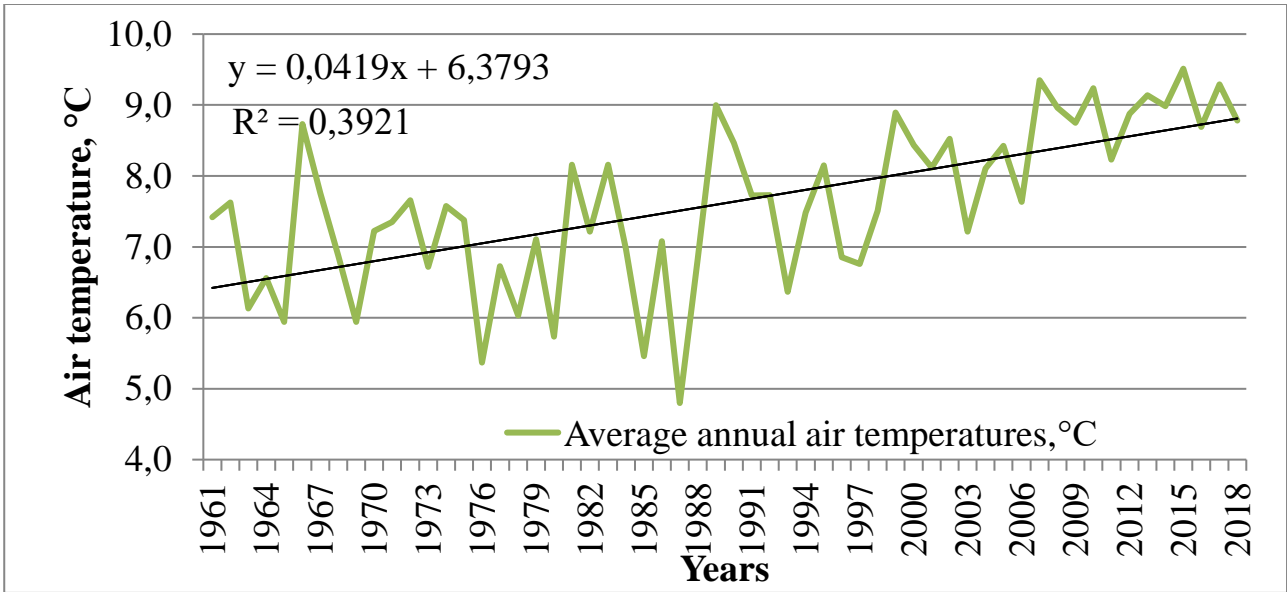


Fig. 5. Average annual air temperatures at the meteorological station Gadiach for the period 1961-2019

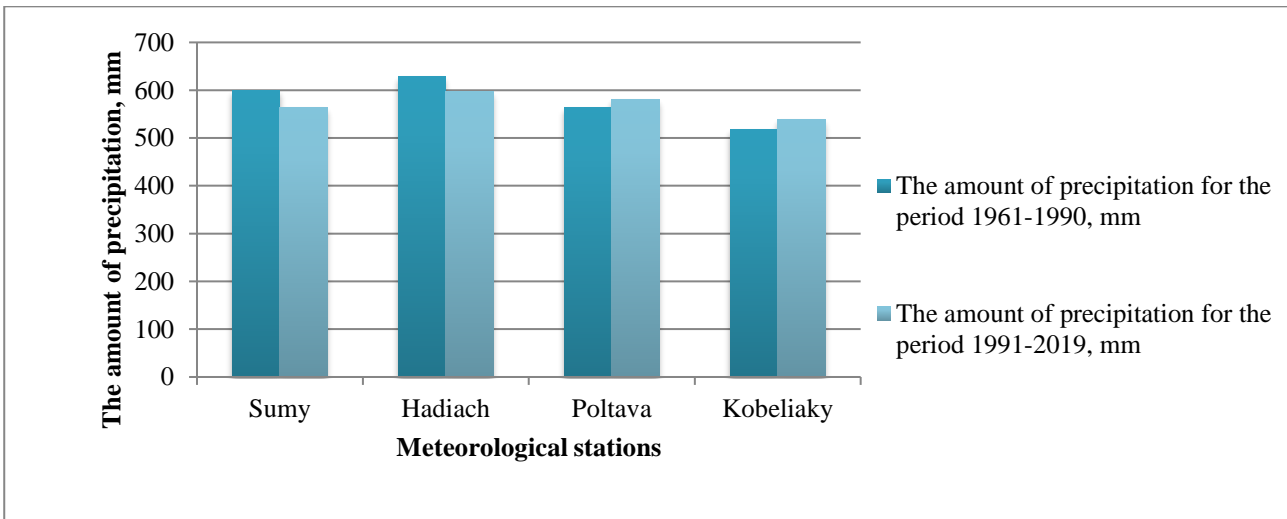


Fig.6. Dynamics of atmospheric precipitation

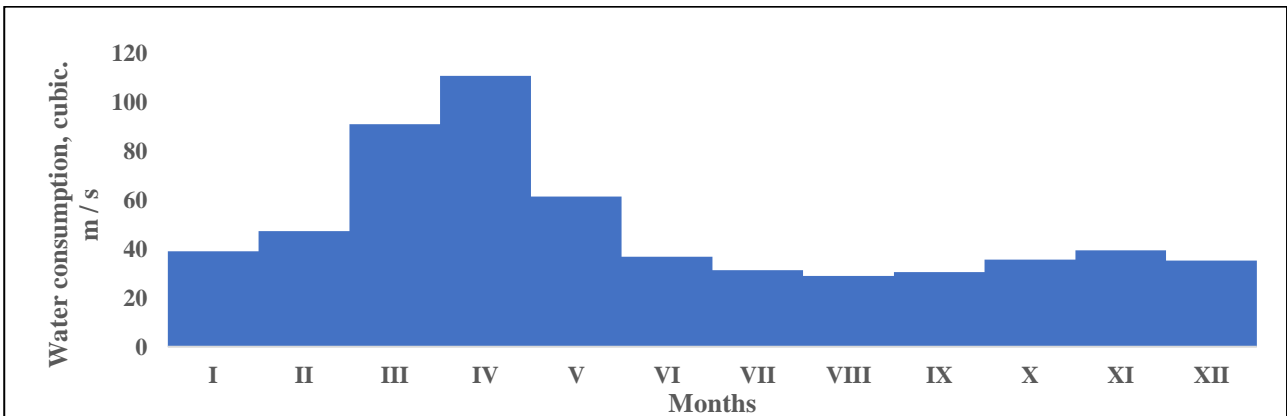


Fig. 7. Water consumption in the river Psyol at Zapsillia hydropost for the period 1961-2017

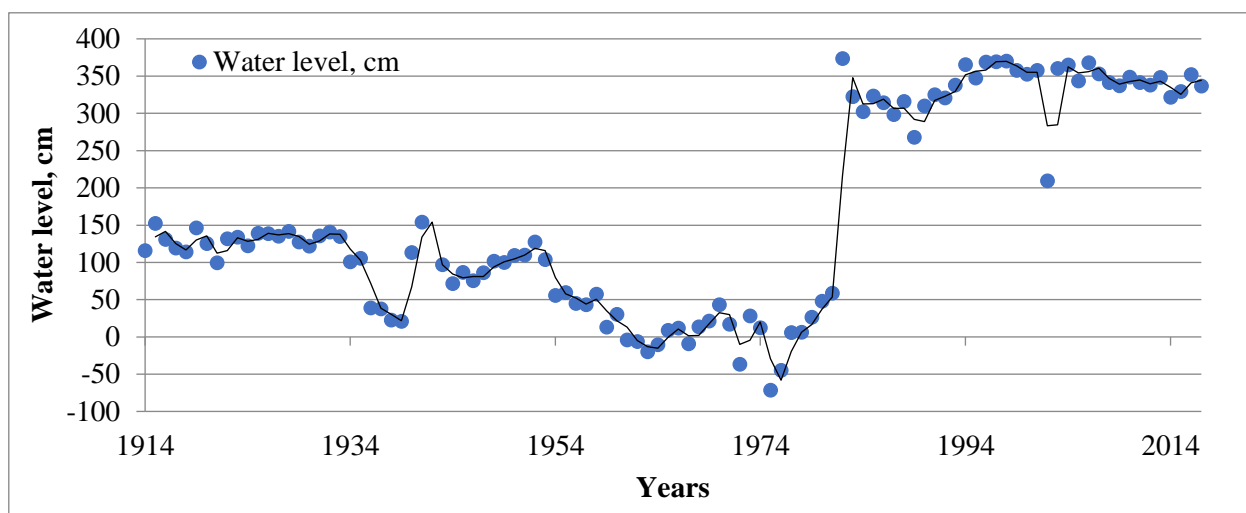


Fig. 8. Dynamics of water level at Gadiach hydropost for 1914-2017

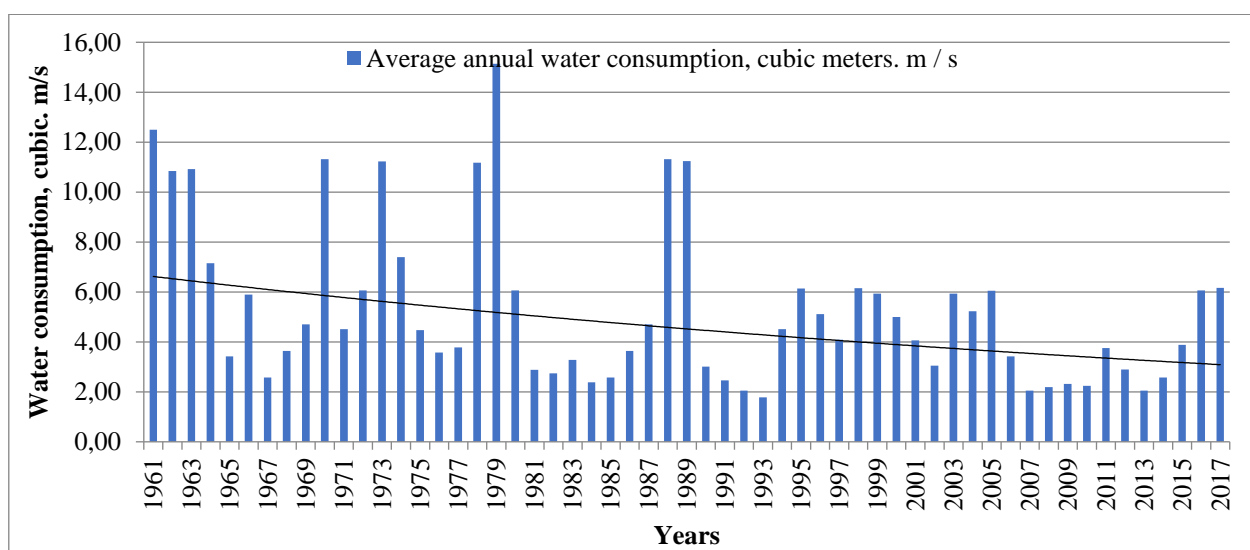


Fig. 9. Water consumption in the Govtva river (Mykhnivka hydropost)

ter consumption in the Psyol (Fig. 9) and its tributaries tends to decrease. This is probably due to the widening of the riverbed and creation of reservoirs on the river and its tributaries.

The relationship between climate change and hydrological parameters of the main watercourses in the Psyol basin was determined between air and water temperature indicators and between precipitation and water levels.

The intra-annual distribution of water temperature and its long-term dynamics has been analyzed when water bodies are mostly covered with ice in winter. In the spring rapid warming of the water surface from 0.5 °C in March to 15.0 °C in May is typical.

The summer period is characterized by maximum water temperature, while in autumn it begins to decline rapidly, in late November glaciation may begin on the rivers, lasting until late February-early March.

Indicators of average annual water temperatu-

res increased mainly at all hydro posts in the study area (Fig. 10).

The calculated correlation coefficient which characterizes the relationship between air and water temperature, between precipitation and water level in the river Psyol is presented graphically (Fig. 11).

A strong relationship (Fig. 11) has been found between air and water temperature, having a different character throughout the year: a close relationship is characteristic of air and water temperatures in the summer months, as well as in March and November, i.e. in the periods when temperature is more or less stable. At the same time, during periods of active heating and cooling, the degree of correlation decreases due to its thermophysical properties, water reacts more slowly to external changes in thermal regime. In winter, the correlation coefficient is close to zero.

The correlation coefficient between precipitation and the water level in the Psyol river made it possible to detect some relationship between them:

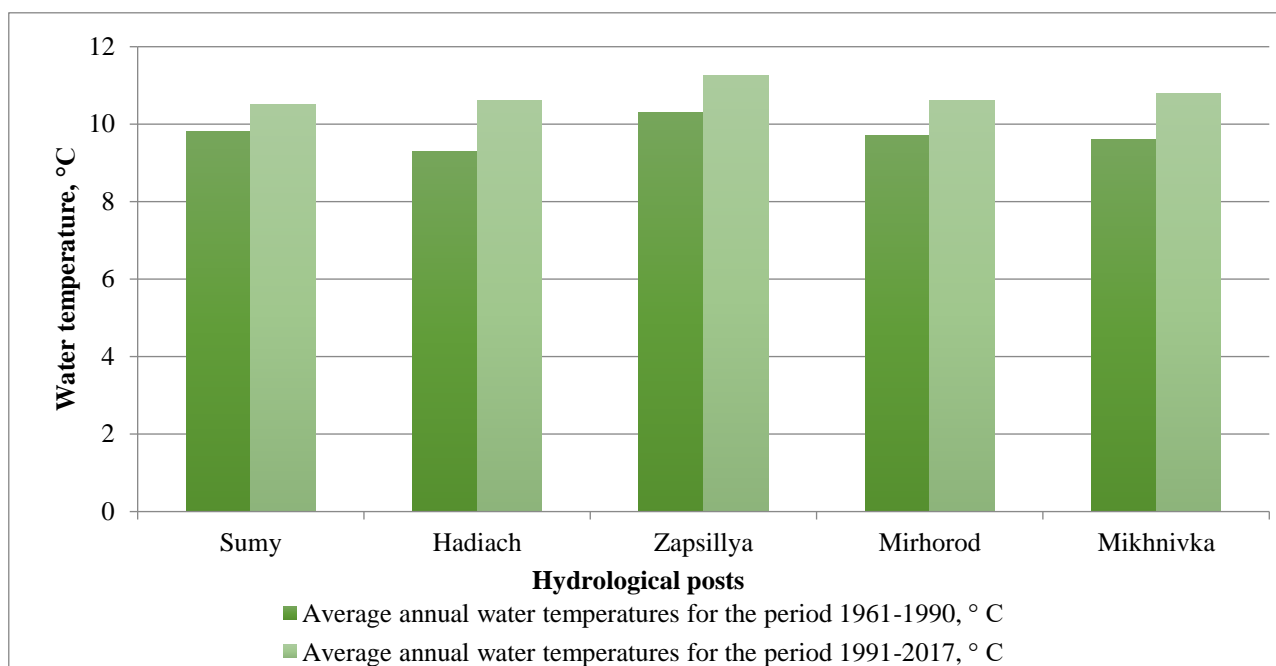


Fig. 10. Average annual water temperatures

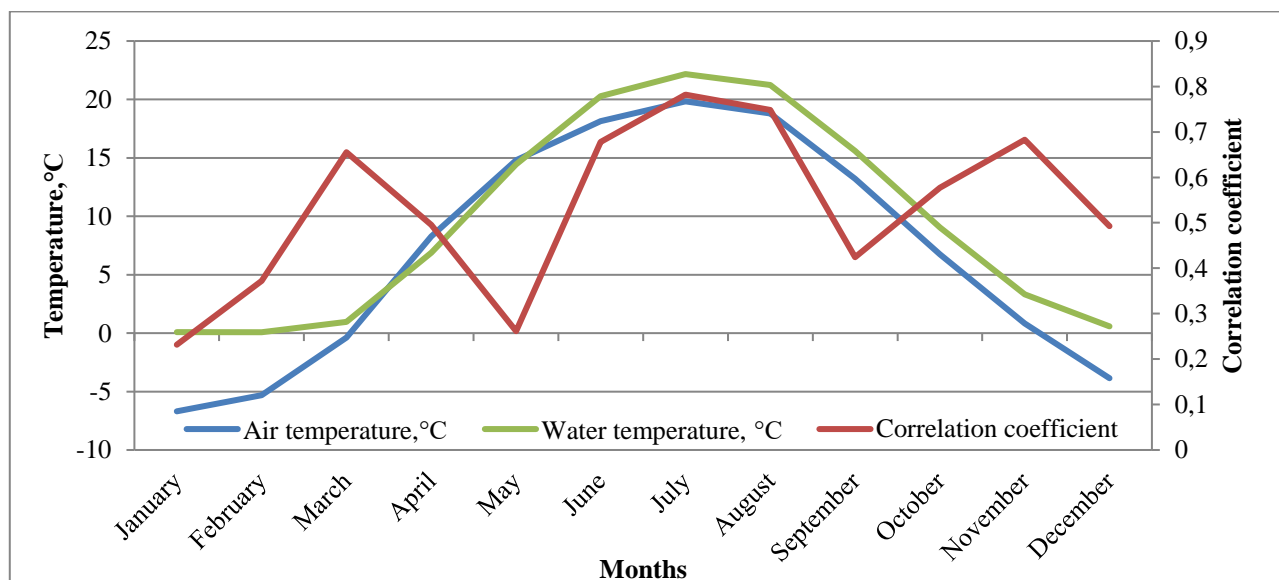


Fig. 11. Intra-annual dynamics of the correlation coefficient between air and water temperatures at meteorological stations and hydroposts in Gadiach for the period 1961-2017

the maximum value was recorded in autumn when the river runoff and, accordingly, the water level depended on precipitation. A common feature of the change in these two indicators is that the water level reaches its maximum value in early spring, while precipitation - in mid-summer. Accordingly, precipitation, which should affect the formation of the runoff, is "late" in its course and in late spring and winter the correlation coefficient takes negative values, indicating an inverse relationship. In addition, it should be remembered that the main source of the runoff in the Psyol river is water from melted snow and ice which actively fills the river during March-April, causing spring flooding. At the same time,

maximum precipitation in summer is not accompanied by an increase in water level as evaporation from the water surface increases along with the increase in air temperature.

Rainfall increases again in winter but the water level in the river decreases at this time, especially actively during November-January. The ice phase begins and water becomes solid, while precipitation, often in the form of snow, accumulates. But in early spring its amount decreases, while after the clearing in the river the water level begins to rise.

Student's criterion was used to confirm the non-randomness of statistical samples and the obtained correlation coefficients (Table 2).

Student's criterion, Sumy

Month	r	t	$\sigma$	$\alpha$
January	0,232	0,272	0,1336	57
February	0,372	0,856	0,1335	57
March	0,656	0,170	0,1336	57
April	0,495	0,002	0,1332	57
May	0,261	0,273	0,1297	57
June July	0,678	0,839	0,1336	57
July	0,782	0,239	0,1279	57
August	0,748	0,258	0,1206	57
September	0,423	0,0000745	0,1285	57
October	0,577	0,28676	0,1264	57
November	0,683	0,21834	0,1317	57
December	0,493	0,00013	0,1304	57
Year	0,943	0,000	0,1484	57

According to the results of correlation coefficients calculations, it has been proved that all deviations in this statistical sample are non-random and, therefore, the value of correlation coefficients is significant.

In this study, the prognostic assessment of the future course of some climatic indicators in the Psyol river basin is applied. The main purpose of such assessment is to draw attention to the state of water bodies in the study area, to demonstrate possible results of negligent use of water resources. In addition, such an assessment is relevant in view of the global climate change that has taken place over the past 30 years and has some impact on the global ecosystem and its local manifestations. Construction of possible scenarios of air temperature and water flow in the river Psyol is relevant and important.

Considering certain trends for periods of 1961-1990 and 1991-2019, projections of future changes are determined, where the initial period is taken between 1991 and 2019 and the forecast period will be 2020-2048. The indicators are calculated as arithmetic averages because climatic and hydrological indicators are variable and, therefore, have a high degree of dispersion. So, it is correct to make predictions only for averages.

Based on previously analyzed data on changes in average air temperatures for the period 1991-2019, compared to 1961-1990, simulated indicators of air temperature growth in the Psyol river basin over the next 30 years (2020-2048) were obtained.

Given that the trends in thermal regime will remain similar to the period 1991-2019, the largest increase in air temperature is expected at the weather station Gadiach by 1.5 °C, at other weather stations this figure will range from 1.1 to 1.3 °C (Fig. 12).

While maintaining the current trend against the background of rising air and water temperatures and declining rainfall, we find that in the coming dec-

ades (2018-2044) significant water consumption is expected at the Zapsillia hydropost (in the lower reaches of the Psyol). The small rivers Khorol and Govtva are the most dehydrated, the most vulnerable to any changes in their water regime due to low gross water flow.

Taking into account the established changes in the temperature regime in the Psyol river basin, we can expect a decrease in water consumption both in the main river of the basin and in its main tributaries (Fig. 13).

In addition to changes in temperature and humidity, the reasons for this process were the shifts that occurred in the nature of intra-annual distribution of runoff. Thus, late in the XXth – early the XXI century the share of spring floods decreased as the duration of the ice phenomena period shortened and, correspondingly, the snow cover capacity on rivers decreased. Relative indicators will be a significant addition to the long-term dynamics of absolute values: in percentage terms, the most noticeable changes occurred in the tributaries of the Psyol (consumption in Govtva decreased by 39%, in Khorol - by 25%, while in Psyol - from 6 to 12%). That is, it can be seen that small rivers, most vulnerable to any external changes, have suffered the most with the fastest evaporation, most dependent on the arrival of meltwater in the spring. A significant reduction in the duration of ice phenomena has significantly changed the water content of these rivers.

**Conclusions.** Changes in climatic indicators of hydrological characteristics make it possible to determine the reference conditions and classes of ecological status of rivers under anthropogenic load. Further changes with different tendencies are obvious: an increase in air temperature will cause similar changes in water temperature during the year, which may worsen water quality due to increasing concentrations of pollutants, reduced oxygen in the water;

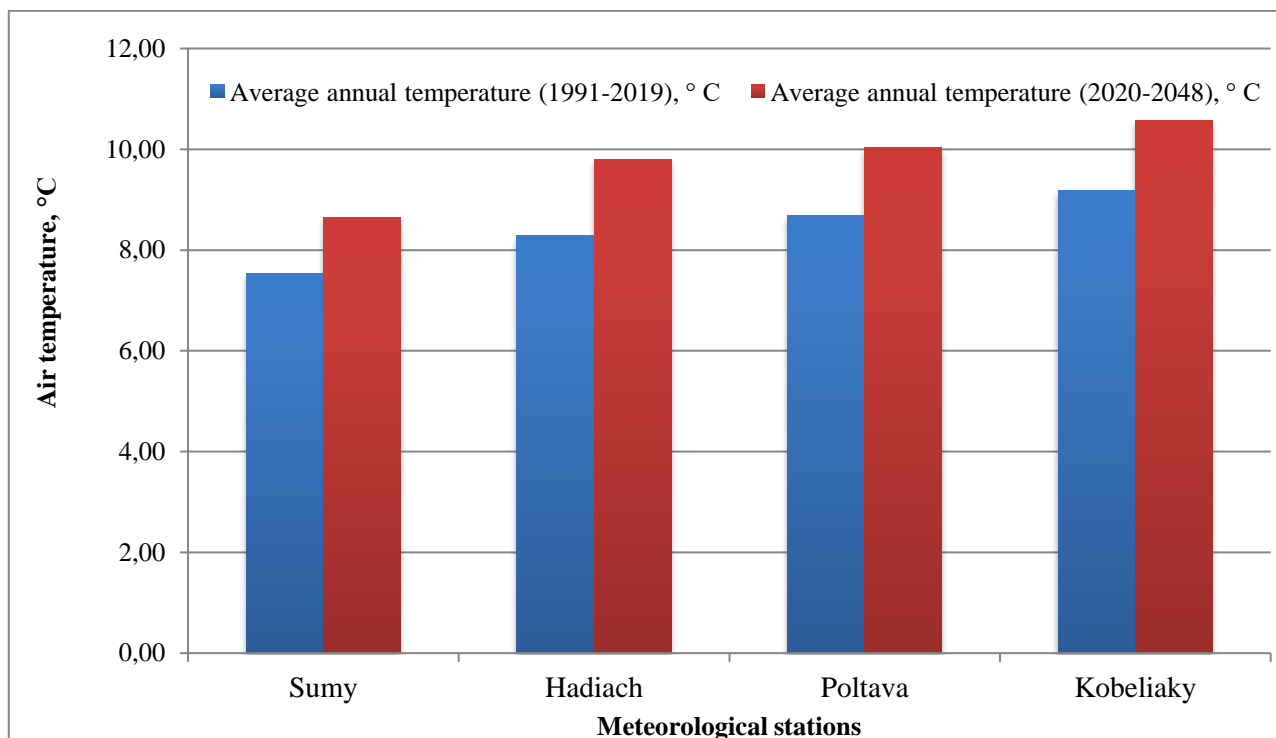


Fig. 12. Forecast average annual air temperature during 2020-2048 in the Psyl river basin

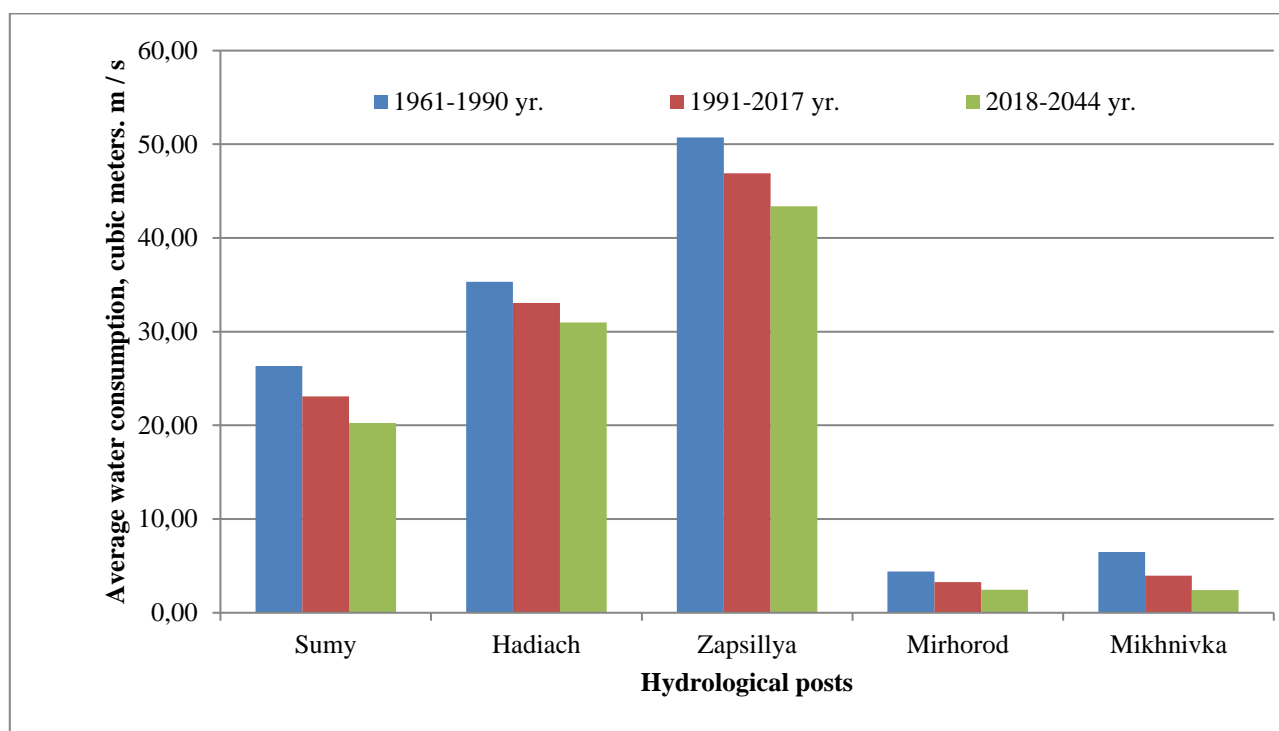


Fig. 13. Water consumption in the Psyl river basin

reduction of the duration of the ice cover, on the contrary, is aimed at improving the condition of rivers due to early melting of ice, reduction of the ice layer.

The reasons for the future shallowing of rivers in the Psyl river basin within Ukraine are present-day changes in temperature and humidity, rapid reduction in the duration of ice regime and snow cov-

er in the river valley which caused the negative dynamics in water flow.

The identified patterns of changes in climatic and hydrological indicators in the Psyl river basin should be further investigated to be taken into account while planning and managing water resources, designing hydrotechnic and water intake structures.

## Bibliography

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: Вид. офіційне. – К. : Твій формат, 2006. – 240 с.
2. Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін. ; [За ред. В. К. Хільчевського]. – К. : Ніка-центр, 2007. – 184 с.
3. Гончарова Л.Д. Вплив Північної Атлантики на температуру повітря, опади, атмосферний тиск на лівобережній Україні / Л.Д. Гончарова, С.І. Решетченко // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса : ТЕС, 2010. – № 7. – С.54-61.
4. Гопченко Е.Д. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. – Киев : Институт гидробиологии НАН Украины, 2000. – Т. 36. – № 3. – С. 67-78.
5. Гребенюк Н.П. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку XXI ст. / Н.П. Гребенюк, Т.В. Корж, О.О. Яценко // Водне господарство України. – К., 2002. – № 5-6. – С. 34-45.
6. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
7. Лобода Н.С. Зміни клімату та їх важливі наслідки у формування якості вод (на прикладі річок Псел та Ворскла) / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Одеса : Вісник Одеського державного екологічного університету, 2017. – № 22. – С. 69-79. Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu\\_2017\\_22\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_10)
8. Лобода Н.С. Визначення водних ресурсів річок Псел та Ворскла з урахуванням впливу підстильної поверхні на базі моделі «клімат – стік» / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К., 2015. – Т. 2 (37). – С. 48-55. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge\\_2015\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2015_2_7)
9. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: моногр. / Н.С. Лобода. – Одесса: Екологія, 2005. – 208 с.
10. Лобода Н.С. Тенденції зміни водності та якості води річок Псел та Ворскла на початку XXI сторіччя / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Україна: географія цілей та можливостей. – К., 2012. – Т.1. – С. 192-195.
11. Руденко В.П. Критичний екологічний стан компонентів природи в регіонах України // Український географічний журнал. – К., 2010. – № 2. – С. 60-68.
12. Loboda N.S., Pilipyuk V.V. Evaluation of ability for natural purification of the Psyol and Vorskla rivers / N.S. Loboda, V.V. Pilipyuk // International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences. – 2015. – N. 1 – P. 28–32.
13. Закон України 2697-VIII Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: за станом на 01.01.2020 [Електронний ресурс] / Верховна рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2019. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
14. Решетченко С.И. Влияние процессов в Северной Атлантике на климатические показатели в Украине и Восточной Европе [Електронний ресурс] / С.И. Решетченко, И.А. Кибальчич // Альманах современной науки и образования. – 2014. – №4. – С. 139-145. – Режим доступу : [https://www.gramota.net/articles/issn\\_1993-5552\\_2014\\_4\\_38.pdf](https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf)
15. Решетченко С.И. Зміна температурного режиму на території Харківської області [Електронний ресурс] / С.И. Решетченко, Т.Г. Ткаченко, О.Г. Лусенко // Вісник Харківського національного університету В.Н. Каразіна. – Серія: геологія, географія, екологія – Харків, 2015. – Вип. 43. – С. 153-158. – DOI : <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-24>
16. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 932-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 7 грудня 2016 р. [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>.
17. Шосте національне повідомлення України з питань зміни клімату [Електронний ресурс] / Міжвідомча комісія із забезпечення виконання вимог Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату. – 2013. – Режим доступу: [http://unfccc.int/national\\_reports/national\\_communications\\_and\\_biennial\\_reports/submissions/items/7742.php](http://unfccc.int/national_reports/national_communications_and_biennial_reports/submissions/items/7742.php)
18. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) [Електронний ресурс] / European Commission // Official Journal of the European Union. – Brussels, 2000. – Режим доступу : [https://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts\\_figures/guidance\\_docs\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts_figures/guidance_docs_en.htm)
19. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. [Електронний ресурс] / European Commission // Official Journal of the European Union. – Brussels, 2007. – Режим доступу : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>
20. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)] [Електронний ресурс] / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Geneva. – 151 pp. – Режим доступу : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

UDC 556.535

***Svitlana Reshetchenko,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [s.reshetchenko@karazin.ua](mailto:s.reshetchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

***Sviatoslav Dmitriiev,***

Bachelor, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: [xa13278062@student.karazin.ua](mailto:xa13278062@student.karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>;

***Nadiia Cherkashyna,***

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: [n.cherka@gmail.com](mailto:n.cherka@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

***Liudmyla Goncharova,***

PhD (Geography), Associate Professor, Odessa State Environmental University,

5-b Ak. Glushko Av., apt. 92, Odessa, 65113, Ukraine,

[goncharova.luda.50@gmail.com](mailto:goncharova.luda.50@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6340-2424>

## CLIMATE INDICATORS OF CHANGES IN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS (A CASE OF THE PSYOL RIVER BASIN)

**Formulation of the problem.** A national climate program, complying with the Association Agreement between Ukraine and the EU, is aimed at long-term adaptation measures to climate change, providing for the development of legislation in the field of environmental protection, sectoral strategies, improving air and water quality. These measures require identification of climatic factors' impact on hydrological characteristics of water bodies in any area in order to protect and improve them, as well as a comprehensive approach to the rational management of water resources.

**Analysis of previous research.** Using mathematical models of atmospheric circulation allows us to obtain generalized calculations of the average global and regional air temperature, characterized by significant errors in case of different models.

**Problems of further research.** Modern changes in climatic conditions in Ukraine are characterized by locality and rapidity: increasing number of anomalous atmospheric phenomena, frequency of droughts, dry winds which, according to preliminary estimates, may lead to reduction of water resources, changes in internal annual redistribution of water temperature and runoff against the background of increasing thermal resources of the territory.

**The purpose.** The article analyses climatic indicators' influence on the main hydrological characteristics on the example of the Psyol river basin within Ukraine.

**Research methods.** Research methods are presented by statistical and cartographic analysis (correlation analysis method). The initial information is the results of observations contained in the State Climate Cadastre and the State Water Cadastre for the Dnieper Valley.

**Presentation of the main research material.** Analysis of climate change in the Psyol river basin indicates a decrease in water consumption, both in the main river of the basin and in its main tributaries. In addition to changes in temperature and humidity, the reasons for this process were the shifts that occurred in the nature of the intra-annual distribution of the runoff. During the late XX – early XXI century the share of spring floods decreased due to the reduced period of ice phenomena and corresponding decrease in the thickness of the snow cover on the rivers. As a result, the most important component of the annual runoff of rivers began to decrease rapidly. The role of groundwater in the formation of water runoff increased against the background of a predominant decrease in precipitation. This is especially true for medium-size and small rivers, subject to significant anthropogenic pressure: over-regulation of channels, creation of artificial lakes, their shallowing.

**Practical value.** Based on the main provisions of the national environmental policy of Ukraine on the use of water resources and the implementation of European principles of the Water Framework Directive 2000/60 / EC (ERVD) the study of changes in hydrological regime of rivers is of practical importance for sustainable management.

**Research results.** The study of the impact of changes in climatic indicators on hydrological characteristics makes it possible to determine the reference conditions and classes of ecological status of rivers under conditions of anthropogenic pressure against the background of further changes in climatic indicators that will have different trends.

**Keywords:** surface waters, inland waters, river basin, monitoring, analysis of river basins, climate, climate change, anthropogenic load.

#### References

1. EU Water Framework Directive 2000/60 / EC. Basic terms and their definitions: Ed. official. (2006). Kiev: Tvij format, 240. [in Ukrainian]
2. V.K. Khiltchevskiy, I.M. Romas', M.I. Romas' Hydrological and hydrochemical characteristics of the minimum runoff of rivers of the Dnieper basin. (2007). Kiev: Nika-centr, 184. [in Ukrainian]
3. Goncharova, L.D., Reshetchenko, S.I. (2010). Influence of the North Atlantic on air temperature, precipitation, atmospheric pressure on the left bank of Ukraine. *Ukrayins'kyj gidrometeorologichnyj zhurnal*, 7, 54-61. [in Ukrainian].
4. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. (2000). Estimation of possible changes of water resources of Ukraine in the conditions of global warming. *Gy'droby'ology`cheskyj zhurnal*. Kiev: Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 36, 3, 67-78. [in Ukrainian].
5. Grebenyuk, N.P. (2002). New about changes in the global and regional climate in Ukraine at the beginning of the XXI century. *Water Management of Ukraine*, 5-6, 34-45. [in Ukrainian].
6. Grebin, V. V. (2010). Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis). Kiev: Nika-Center, 316. [in Ukrainian]
7. Loboda, N.S., Pyly'p'yuk, V.V. (2017). Climate change and its important consequences in the formation of water quality (a case of the rivers Psyol and Vorskla). *Bulletin of Odessa State Ecological University*, 22, 69-79. [in Ukrainian]. Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu\\_2017\\_22\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_10)
8. Loboda, N. S., Pyly'p'yuk, V. V. (2015). Determination of water resources of the rivers Psyol and Vorskla, considering influence of the underlying surface on the basis of the model "climate - runoff". *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2 (37), 48-55. [in Ukrainian]. Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge\\_2015\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2015_2_7)
9. Loboda, N. S. (2005). Calculations and generalizations of characteristics of the annual runoff of rivers of Ukraine in the conditions of anthropogenic influence: monograph. Odessa: Ecology, 208. [in Russian].
10. Loboda, N.S., Pyly'p'yuk, V. V. (2012). Trends in water content and water quality of the rivers Psyol and Vorskla at the beginning of the XXI century. *Ukraine: geography of goals and opportunities*, 1, 192-195. [in Ukrainian].
11. Rudenko, V.P. (2010). Critical ecological condition of nature components in the regions of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 60-68. [in Ukrainian].
12. Loboda, N. S., Pylypiuk, V. V. (2015). Evaluation of ability for natural purification of the Psyol and Vorskla rivers. *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*, 1, 28-32.
13. On basic principles (strategy) of the state ecological policy of Ukraine for the period up to 2020: Approved by the Law of Ukraine of 21.12.2010 № 2818-VI. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17> [in Ukrainian].
14. Reshetchenko, S.I., Kibalchich, I.A. (2014). Influence of processes in the North Atlantic on climatic indicators in Ukraine and Eastern Europe // *Almanac of modern science and education*, 4, 139-145. Access mode: [https://www.gramota.net/articles/issn\\_1993-5552\\_2014\\_4\\_38.pdf](https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf) [in Russian]. ISSN: 1993-5552.
15. Reshetchenko, S.I., Tkachenko, T.G., Ly'senko, O.G. (2015). Changing the temperature regime in the Kharkiv region. *Visnyk Xarkivs'kogo nacional'nogo universy'tetu im. V.N. Karazina. Seriya: geologiya, geografiya, ekologiya*, 43, 153-158. DOI : <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-24>. [in Ukrainian].
16. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of the Concept of implementation of state policy in the field of climate change until 2030" dated December 7, 2016, 932. Access mode: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>. [in Ukrainian]
17. Sixth National Communication of Ukraine on Climate Change (2013). Access mode: [http://unfccc.int/national\\_reports/national\\_communications\\_and\\_biennial\\_reports/submissions/items/7742.php](http://unfccc.int/national_reports/national_communications_and_biennial_reports/submissions/items/7742.php) [in Ukrainian].
18. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Access mode: [https://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts\\_figures/guidance\\_docs\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts_figures/guidance_docs_en.htm)
19. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Access mode: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>
20. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151. Access mode: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)



УДК 551.577.38+551.581.1

**Семенова Інна Георгіївна,**

д. геогр. н., професор кафедри військової підготовки,  
Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,  
e-mail: [in\\_home@ukr.net](mailto:in_home@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>;

**Польовий Анатолій Миколайович,**

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри агрометеорології та агроєкології,  
Одеський державний екологічний університет,  
e-mail: [apolevoy@te.net.ua](mailto:apolevoy@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>

## ПРОГНОСТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ПОСУХ ТЕПЛОГО СЕЗОНУ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В 2021-2050 РР.

В даній статті представлені результати аналізу просторово-часового розподілу посух в теплі сезони періоду 2021-2050 рр. по території України, отримані з використанням даних кліматичного моделювання в рамках кліматичних сценаріїв RCP4.5 та RCP6.0. Оцінка подій посух та їх інтенсивності виконана на базі стандартизованого індексу посух SPEI на масштабі 7 місяців, який охоплює теплий період року з квітня по жовтень. Аналіз прогностичного часового ходу індексу посух по регіонах країни показав, що за обома сценаріями спостерігатиметься тенденція до переходу від помірно вологих умов у 2021-2035 рр. до посушливих умов у 2037-2050 рр. При цьому в рамках сценарію RCP6.0 прогнозується більш тривалий перехід протягом 2030-х років з високою просторовою мінливістю індексу посух в цей період. Найбільш посушливими за обома сценаріями очікуються 2044-2048 рр., коли в ряді областей сезонна посуха може досягнути екстремальної інтенсивності. Встановлено, що в рамках обох сценаріїв очікується збільшення кількості сезонів з посухою протягом досліджуваного періоду, при цьому, на відміну від сценарію RCP4.5, за сценарієм RCP6.0 максимум повторюваності посух в другій половині періоду не зосереджений лише на півдні, а прогнозується також в східних і північних областях, що свідчить про суттєві просторові зміни прогнозованого характеру регіональної циркуляції атмосфери в рамках більш жорсткого сценарію. Кількість сезонів з посухою коливатиметься в різних областях від 2-3 випадків/10 років на початку досліджуваного періоду до 6-10 випадків/10 років наприкінці періоду. За обома сценаріями, максимум повторюваності сезонів з посухою в 2021-2030 рр. припаде на західні області України, при цьому в рамках сценарію RCP4.5 в південних областях в цей період посух майже не прогнозується. В період 2031-2040 рр. зростання кількості сезонів з посухою в середньому до 4-6 випадків/10 років відбуватиметься по всіх регіонах, окрім західних областей в рамках сценарію RCP6.0. В останнє десятиліття 2041-2050 рр. триватиме зростання посушливості, при цьому за сценарієм RCP6.0 кількість посушливих сезонів загалом по Україні очікується більшою, ніж в сценарії RCP4.5.

**Ключові слова:** посуха, стандартизований індекс опадів-евапотранспірації, кліматичний сценарій, теплий сезон, режим опадів, режим температури.

**И. Г. Семёнова, А. Н. Полевой. ПРОГНОСТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСУХ ТЁПЛОГО СЕЗОНА ПО ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В 2021-2050 ГГ.** В данной статье представлены результаты анализа пространственно-временного распределения засух в теплые сезоны периода 2021-2050 гг. по территории Украины, полученные с использованием данных климатического моделирования в рамках климатических сценариев RCP4.5 и RCP6.0. Оценка событий засух и их интенсивности выполнена на базе стандартизованного индекса засухи SPEI на масштабе 7 месяцев, который охватывает теплый период года с апреля по октябрь. Анализ прогностического временного хода индекса засух по регионам страны показал, что по обоим сценариям будет наблюдаться тенденция перехода от умеренно влажных условий в 2021-2035 гг. до засушливых условий в 2037-2050 гг. При этом в рамках сценария RCP6.0 прогнозируется более длительный переход в течение 2030-х годов с высокой пространственной изменчивостью индекса засух в этот период. Наиболее засушливыми по обоим сценариям ожидаются 2044-2048 гг., когда в ряде областей сезонная засуха может достичь экстремальной интенсивности. Установлено, что в рамках обоих сценариев ожидается увеличение количества сезонов с засухой в течение исследуемого периода, при этом, в отличие от сценария RCP4.5, по сценарию RCP6.0 максимум повторяемости засух во второй половине периода не сосредоточен только на юге, а прогнозируется также в восточных и северных областях, что свидетельствует о существенных пространственных изменениях прогнозируемого характера региональной циркуляции атмосферы в рамках более жесткого сценария. Количество сезонов с засухой будет колебаться в различных областях от 2-3 случаев / 10 лет в начале исследуемого периода до 6-10 случаев / 10 лет в конце периода. По обоим сценариям, максимум повторяемости сезонов с засухой в 2021-2030 гг. придется на западные области Украины, при этом в рамках сценария RCP4.5 в южных областях в этот период засух почти не прогнозируется. В период 2031-2040 гг. рост количества сезонов с засухой в среднем до 4-6 случаев / 10 лет будет происходить по всем регионам, кроме западных областей в рамках сценария RCP6.0. В последнее десятилетие 2041-2050 гг. продолжится рост засушливости, при этом в сценарии RCP6.0 количество засушливых сезонов в целом по Украине ожидается больше, чем в сценарии RCP4.5.

**Ключевые слова:** засуха, стандартизованный индекс осадков-эвапотранспирации, климатический сценарий, тёплый сезон, режим осадков, режим температуры.

**Вступ.** Посуха є природним явищем, яке може виникати в будь-яких кліматичних умовах, тому це явище постає однією з найвідповідальніших природних небезпек, яка поширюється протягом повного гідрологічного циклу та зачіпає великі території, часто з тривалими економічними та екологічними наслідками. Не існує

єдиного визначення посухи, але за комплексом причин та наслідків виділяють метеорологічні, сільськогосподарські, гідрологічні, ґрунтові та соціально-економічні посухи [1]. Тривалий дефіцит опадів у визначеному регіоні спричиняє метеорологічну посуху, потім проявляється в зниженні вологості ґрунту, веде до дисбалансу у ви-

паровуванні та стоку, через що поступово порушується весь стан екологічної системи, впливаючи на економічні складові.

**Постановка проблеми.** Спостереження за частотою та інтенсивністю посушливих явищ в умовах глобальних кліматичних змін показують стійку тенденцію до посилення цих процесів в багатьох районах Європи. Дослідження тенденцій розповсюдження та інтенсивності посух за останні півстоліття виявили, що в Європі виділяються дві великі області з різними тенденціями частоти появи та тривалості посух. Так, протягом 1950-2015 рр. в південних і західних регіонах, а також у Карпатському регіоні, на узбережжі Чорного моря, в Україні і частині Центральної Європи спостерігалися тенденції наростання повторюваності та інтенсивності посух, тоді як в більшості районів Північної і Східної Європи відзначалося зниження цих параметрів [2]. Особливо процеси збільшення інтенсивності посух посилювалися у весняний та літній періоди, що цілком вірогідно через спостережуване зростання температури повітря в регіоні [3]. Оскільки Україна є одним з провідних виробників зернових культур в Європі, а сільськогосподарська галузь завжди була пріоритетною в економічному розвитку країни, теоретичні знання про можливі події посух як в найближчому часі, так і віддаленому майбутньому, здатні поліпшити якість планування та розробки комплексних заходів, спрямованих на розвиток агропромислового комплексу та забезпечення продовольчої безпеки країни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В XXI столітті, за даними Caloiero та ін. [4], у більшості регіонів континентальної Європи та Середземноморського басейну було виявлено три основні події посухи: у 2003, 2011 та 2014 рр. Перші десятиліття поточного століття в Україні були відзначені зростанням посушливості теплого сезону року [5]. В усіх агрокліматичних зонах найбільш поширеними є весняно-літні посухи: в період 1995-2012 рр. їх кількість в кожному сезоні коливалася від 3-4 випадків в Поліссі до 7-8 випадків у Степу. Посухи вегетаційного періоду (квітень-жовтень) також мали тенденцію до збільшення частоти появи та посилення інтенсивності на початку поточного століття по всій Україні. Такі тенденції, як показано в [6], зумовлені зміною регіональної циркуляції атмосфери, яка проявилася у послабленні циклонічної діяльності на території країни в зимовий період. Суттєве зменшення кількості південних циклонів, які є одним з кліматоутворюючих факторів через значні запаси вологи, які вони приносять на територію України, призвело до більш частой та ранньої появи посух у весняний період

і посилення їх суворості влітку через нестачу запасів вологи у ґрунті.

Просторово-часовий розподіл посух цілком залежить від температурно-вологісного режиму певної території. На теперішній час більшість оцінок майбутніх погодних умов ґрунтується на використанні проєкцій змін у всіх компонентах кліматичної системи, які отримані за результатами модельних імітацій з використанням набору сценаріїв RCP (репрезентативні траєкторії концентрацій), заснованих на концентраціях вуглецю в атмосфері [7]. RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційної дії (РД) у 2100 р. в порівнянні з 1750 р., яка дорівнює відповідно: 2,6 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP2.6; 4,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP4.5; 6,0 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP6.0; 8,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP8.5. Сценарій RCP2.6 передбачає скорочення викидів з доволі низьким рівнем дії, сценарії RCP4.5 і RCP6.0 передбачають стабілізацію викидів, а найбільш жорсткий сценарій RCP8.5 відповідає вельми високим рівням викидів парникових газів.

Дослідження проєкцій змін температури повітря та опадів по території України в рамках сценаріїв RCP показали [5], що у короткостроковій перспективі очікується загальне підвищення приземної температури повітря, яке торкнеться всіх областей України та особливо інтенсивним буде в північно-східному регіоні. Так, за сценарієм RCP8.5 до 2030 р. аномалії температури відносно базового періоду 1981-2010 рр. коливатимуться в межах +0,8...+1,2°C, і лише на сході в окремі роки досягатимуть +1,8°C. Після 2033 р. на півдні та у 2036-2037 рр. в більш північних районах температура почне швидко зростати, і в п'ятиліття з 2045 по 2050 рр. аномалії температури можуть досягати +2,8...+3,1°C, особливо в східній частині і на півночі. В південних районах аномалії температури розподіляться досить однорідно у виділених довготних межах.

Водночас на території України спостерігатимуться різноманітні тенденції у зміні інтенсивності і кількості опадів за різними сценаріями. Так, за кліматичним сценарієм RCP8.5, очікується переважно зростання кількості опадів в середині періоду і їх зменшення у більшості областей до 2050 р. При цьому прогнозується поступове зростання інтенсивності опадів при скороченні їх тривалості [8], що сприятиме подовженню безперервних бездошових періодів і настання й посилення посух в майбутньому.

Порівняльний аналіз просторового розподілу і повторюваності прогнозованих сезонних посух, які визначалися за індексом посух SPI (the Standardized Precipitation index [9, 10]) на масштабі 7 місяців з квітня по жовтень впродовж 2020-2050 рр., показав [11], що загальна кіль-

кість посух очікується вище за сценарієм RCP2.6, ніж за сценарієм RCP8.5. А саме, за сценарієм RCP2.6 по території України сезонні посухи прогноуються в середньому у 48-56% всіх років, при цьому найбільша прогнозована повторюваність посух припадає на північно-східні області та Карпатській регіон. За сценарієм RCP8.5 загальна повторюваність посух прогноується переважно у межах 44-52%, з найбільшою частотою в Приазов'ї, Закарпатті та на крайній півночі (Київська та Чернігівська області). При цьому за обома сценаріями майже кожний третій теплий сезон прогноується з м'якою посухою крізь на території країни. Загалом, в більш жорсткому сценарії RCP8.5, прогноується більше помірних та сильних сезонних посух, а в рамках сценарію RCP2.6 переважатимуть м'які посухи. В рамках сценарію RCP8.5 майже в усіх регіонах, окрім північного сходу, очікується збільшення інтенсивності та тривалості посушливих періодів після 2035 р., найбільш тривала та інтенсивна посуха прогноується у 2042-2045 рр., а на півдні триватиме й до 2050 р. На більш тривалих часових масштабах (12-24 місяці), які відповідають умовам гідрологічних посух, наприклад, в Карпатському регіоні за сценаріями RCP2.6, RCP4.5 і RCP8.5 також очікується зміна режиму зволоження від відносно вологого у 2020-2032 рр. до настання і посилення посушливих умов після 2037-2038 рр. [12]. Схожі тенденції до збільшення кількості та інтенсивності посух в найближчому майбутньому періоді на півдні Східної Європи отримані й в інших дослідженнях [2, 13]. Оскільки в більшості існуючих досліджень з використанням кліматичних сценаріїв RCP приділяється увага умовно "середньому" сценарію RCP4.5 та "жорсткому" (найбільш критичному) сценарію RCP8.5, невирішеним питанням в можливому розподілі посух по території України залишається кліматичний сценарій RCP6.0, який є проміжним за ступенем радіаційної дії між двома зазначеними сценаріями, але, оскільки існує можливість і його реалізації в майбутньому, знання про розподіл посух по території України в рамках цього сценарію є необхідними для встановлення повної загальної теоретичної картини подій посух в усіх потенційно можливих кліматичних умовах.

**Метою даної роботи** є встановлення просторово-часового розподілу посух по території України в теплий період року (квітень-жовтень) в короткостроковій перспективі протягом 2021-2050 рр. в рамках кліматичних сценаріїв RCP4.5 та RCP6.0, які описують помірно жорсткі майбутні кліматичні умови, що характеризуються різними темпами зростанням глобальної приземної

температури без її стабілізації у період, що розглядається.

Робота виконана в рамках прикладного дослідження „Оцінка ефективності використання поновлювальних та невичерпних природних ресурсів України в умовах зміни клімату” (2017-2019 рр., номер державної реєстрації 0117U002423, фінансування за загальним фондом державного бюджету).

**Методика дослідження та вихідні дані.** Оцінка посух виконана з використанням стандартизованого метеорологічного індексу посух SPEI (the Standardized Precipitation Evapotranspiration index). Індекс SPEI уведений у роботах Вісенте-Серрано та ін. [14, 15], і, як і індекс SPI, базується на часових рядах опадів, але з врахуванням випаровуваності через евапотранспірацію, розрахунок якої передбачає використання також рядів температури повітря.

Індекс SPEI розраховується за процедурою, аналогічною розрахунку SPI [16], але замість опадів використовуються різниці ( $D$ ) місячних сум опадів ( $R$ ) і потенційної евапотранспірації ( $PET$ )

$$D_i = R_i - PET_i, \quad (1)$$

де  $i$  – порядковий номер розрахункового місяця.

Цей вираз відображує в спрощеному вигляді схему водного балансу вертикального стовпа ґрунту від його поверхні до глибини, де припиняється вологообмін [17]. Хоча в (1) не враховується вологообмін поверхні ґрунту з нижче розташованими шарами, така інтерпретація виявилася задовільною для врахування впливу температурного режиму на сумарну зволоженість.

Для визначення  $PET$  використовується метод Торнтвейта [18], що робить індекс SPEI майже таким же чутливим до вмісту вологи у ґрунті, як і відомий індекс посух Палмера [19, 20].

Значення індексу SPEI, як і SPI, стандартизуються для можливості порівняння з іншими величинами в різних географічних пунктах і на різних проміжках часу та мають ті ж самі критерії для визначення посушливих або вологих умов. Обчислені додатні значення SPEI вказують на більшу, ніж в середньому, кількість опадів, від'ємні значення – навпаки.

Набір вихідних даних по опадах та температурі повинен базуватися на безперервному періоді часу тривалістю не менше 30 років. Періоди для усереднювання обираються для деяких масштабів часу, які, в залежності від розв'язуваної задачі, звичайно коливаються від 1 до 48 місяців. Епізод посухи для певного масштабу часу визначається як період, в якому SPEI є безперервно негативним. Інтенсивність посухи визначається

за наступними критеріями:  $-0,99...0,00$  – м'яка посуха;  $-1,49...-1,00$  – помірна посуха;  $-1,99...-1,50$  – сильна посуха;  $\leq -2,00$  – екстремальна посуха.

Як показують порівняльні дослідження [3], уведення в розрахунок температури повітря і врахування таким чином випаровуваності є велими корисним в умовах високих значень температури, адже це дозволяє більш точно оцінити ступень висушування в приземному шарі повітря і поверхні ґрунту, що в умовах прогнозованого зростання глобальної температури робить індекс SPEI більш надійним для оцінки майбутніх епізодів посух.

В даному дослідженні в якості вихідних даних взяті середньомісячні поля приземної температури та інтенсивності опадів результатів кліматичного моделювання за 39 глобальними моделями ППСМ5 (CMIP5) [7] як мультимодельні середні.

Доступ до даних та їх попередня обробка здійснена за допомогою сервісу Climate Explorer [21]. Оскільки крок регулярної сітки вихідних даних доволі великий у 2,5 градуси, проводилося осереднення для географічного центру кожної з 25 областей України. Тобто, отримані ряди температури та опадів є середніми по квадрату сітки з кроком 2,5 градуси, що в більшості випадків охоплює значну площу будь-якої адміністративної області і відповідає осередненим умовам в ній.

Розрахунок індексу посух SPEI на базі сформованих рядів опадів та температури здійснено за допомогою програмного коду SPEI Calculator, який надається авторами індексу у відкритому доступі [22]. Для аналізу обраний індекс SPEI на масштабі 7 місяців, який охоплює теплий період року з квітня по жовтень. Тобто, оцінка розподілу на цьому масштабі дає уявлення про повторюваність та інтенсивність сезонних, або сільськогосподарських посух, які можуть очікуватися на майбутній період часу за відповідними даними кліматичного моделювання.

Для узагальнення інформації по окремих областях в графічному вигляді їх було об'єднано по п'яти регіонам: Захід (області – Закарпатська, Рівненська, Волинська, Львівська, Івано-Франківська, Хмельницька, Тернопільська, Чернівецька), Схід (області – Харківська, Донецька, Луганська), Центр (області – Вінницька, Черкаська, Полтавська, Дніпропетровська, Кіровоградська), Північ (області – Житомирська, Київська, Чернігівська, Сумська), Південь (області – Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, АР Крим).

#### **Результати досліджень.**

#### **Просторово-часовий розподіл посух в ра-**

**мках сценарію RCP4.5.** Розглянемо отриманий в результаті розрахунків часовий розподіл значень індексу посух SPEI в рамках кліматичного сценарію RCP4.5 по різних регіонах України.

На рис. 1 представлені графіки часового ходу прогностичного індексу посух SPEI на масштабі 7 місяців (квітень-жовтень) на майбутній період з 2021 р. по 2050 р. Як можна бачити, по всіх регіонах України очікується поступове зниження значень індексу SPEI від переважно додатних ( $SPEI > 0$ ) у першу половину досліджуваного періоду до переважно від'ємних ( $SPEI < 0$ ) у другу половину.

В західному регіоні в період 2021-2032 рр. переважатимуть помірно вологі умови до нейтральних у 2024-2027 рр. У перехідний період 2032-2036 рр. спостерігатиметься коливання умов від помірно посушливих до помірно зволжених. Після 2037 р. прогнозується переважання від'ємного індексу SPEI, який в окремі роки може досягати значень сильної посухи. Найбільш посушливим прогнозується десятирічний період з 2037 р. по 2046 р., коли майже кожного року по всіх західних станціях сезонний індекс SPEI прийматиме від'ємні значення.

В північному регіоні України спостерігатиметься аналогічний часовий хід значень індексу SPEI. Помірно вологі умови спостерігатимуться в період з 2021 р. по 2036 р., окрім декількох посушливих сезонів (2027, 2033-2034 рр.). Починаючи з 2037 р. прогнозується наростання посушливих умов в теплих сезонах, але наприкінці періоду очікуються роки з помірно вологими умовами (2047, 2049 рр.). Найбільш посушливим прогнозується 2042 р., коли по всіх областях значення індексу посушливості може досягнути екстремального значення.

На сході України, як і в інших областях, спостерігатиметься наростання посушливості теплих сезонів протягом досліджуваного періоду. Згідно часового ходу індексу SPEI, з 2021 по 2037 рр. переважатимуть високі додатні осереднені значення індексу SPEI. При цьому лише в двох-трьох роках по різних областях (2026-2027 рр., 2033-2034 рр.) очікуються слабкі сезонні посухи. Починаючи з 2037 р. і до кінця періоду майже всі сезони прогноуються посушливими, за виключенням 2041 р. та 2047 р., коли індекс SPEI близький до нейтрального стану умов зволоження. Найбільш сильні посуха очікується у 2042 р., коли показники індексу SPEI можуть досягнути екстремальних значень.

В центральному регіоні України спостерігатимуться часові коливання індексу SPEI від зволжених до посушливих умов, при загальній тенденції до зменшення індексу від додатних до від'ємних значень протягом досліджуваного пе-

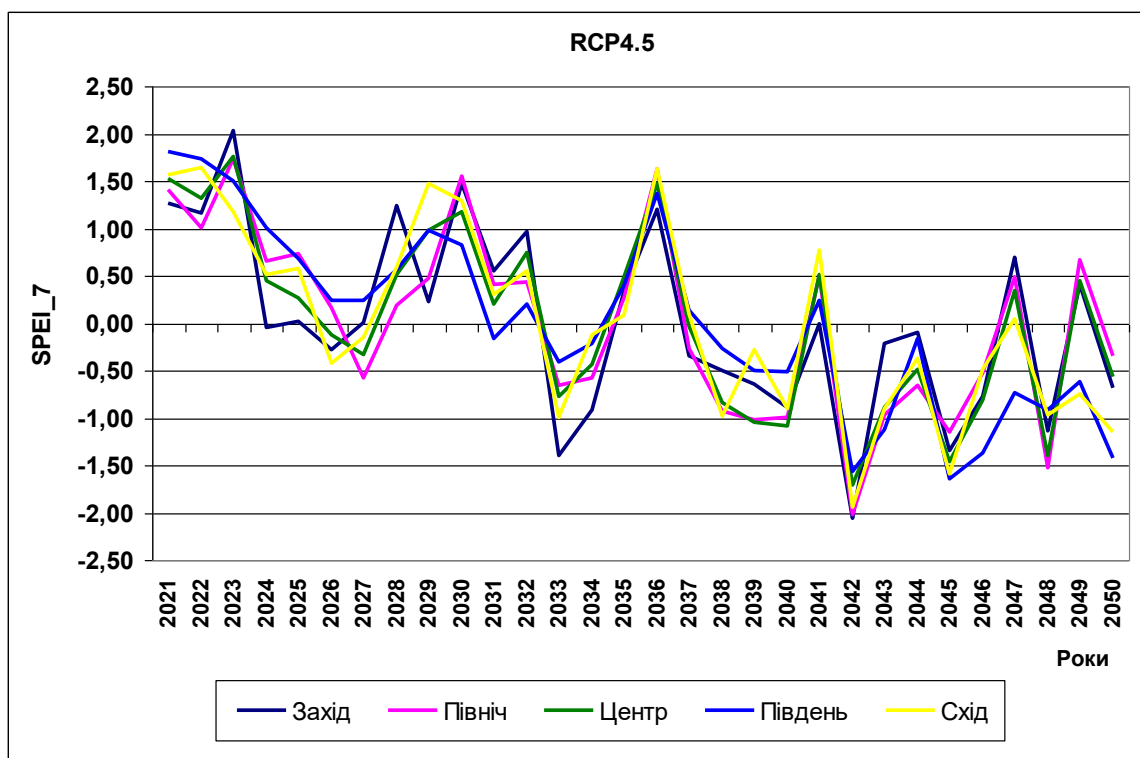


Рис. 1. Часовий хід осередненого прогностичного індексу SPEI\_7 за сценарієм RCP4.5 по регіонах України за період 2021-2050 рр.

ріоду. З 2021 р. по 2037 р. по деяких областях Центру буде спостерігатися від 2 до 5 років з слабкими посухами переважно у 2024-2027 рр. та 2033-2034 рр. Починаючи з 2038 рр. спостерігатиметься переважання посушливих сезонів, при цьому майже в усіх центральних областях (окрім Дніпропетровської) посуха буде відсутньою в 2041 р., 2047 р. та 2049 р. Найбільш інтенсивна посуха прогнозується в 2042 р., у більшості областей у 2045 р. та 2048 р.

На півдні України спостерігатиметься аналогічний до інших регіонів країни тренд у часовому ході індексу SPEI, але, на відміну від інших областей, до 2038 р. зберігатимуться переважно вологі або нейтральні умови зволоження. Друга половина періоду характеризується стійким переважанням від'ємних значень індексу SPEI, що свідчить про майже безперервний посушливий період до 2050 р. з коливаннями інтенсивності сезонних посух майже в усіх південних областях, при цьому значення індексу, на відміну від інших регіонів, досягатимуть позначок лише сильної посухи (2042, 2045 рр.).

**Просторово-часовий розподіл посух в рамках сценарію RCP6.0.** На рис. 2 представлені графіки часового ходу прогностичного індексу посух SPEI на масштабі 7 місяців (квітень-жовтень) по регіонах України, отриманих в рамках кліматичного сценарію RCP6.0 за період з 2021- 2050 рр.

Порівняно з часовим ходом індексу SPEI за сценарієм RCP4.5 (див. рис. 1), слід відзначити, що в рамках сценарію RCP6.0, незважаючи на загальну тенденцію до зменшення значень індексу від додатних в першій половині періоду до від'ємних в другій половині, спостерігатиметься досить помітний розкид у поведінці індексу по окремих регіонах. Крім того, доволі тривалий період – з 2030 р. до початку 2040-х, по всіх регіонах прогнозується чергування відносно вологих ( $SPEI > 0$ ) та відносно посушливих ( $SPEI < 0$ ) сезонів, тобто немає, як в сценарії RCP4.5, чіткого періоду переходу від вологого до посушливого періоду в середині 2030-х років.

В західному регіоні України в період 2021-2032 рр. переважатимуть сезони з помірним та добрим зволоженням (особливо 2025-2027 рр.), а починаючи з 2038 р. і по 2050 р. частіше спостерігатимуться сезони з посухою. Найбільш посушливими по всіх західних областях очікуються теплі сезони 2024 р., 2045-2047 рр., коли прогнозований індекс SPEI може досягти значень сильної посухи.

В північному регіоні України спостерігатиметься аналогічний часовий хід значень індексу посухи SPEI, але відносно вологі сезони переважатимуть до 2040 р., після чого спостерігатиметься поступове зниження індексу до від'ємних значень до кінця періоду, що розглядається. Найбільш тривалим безперервним періодом з тепли-

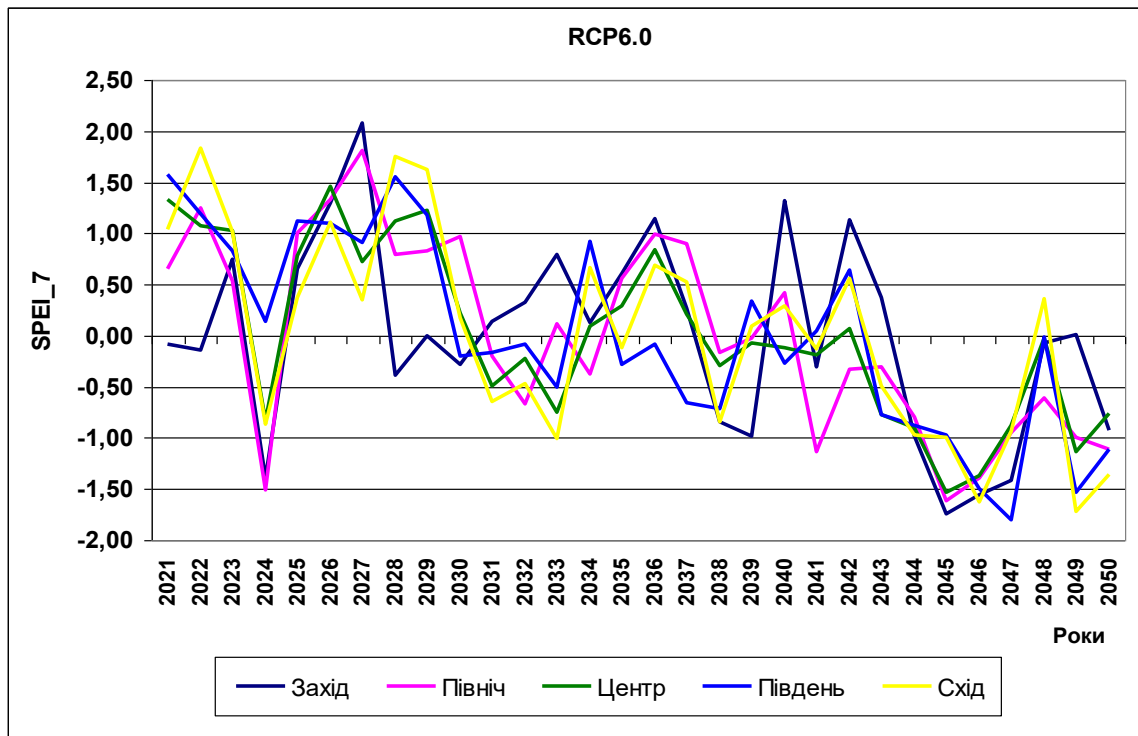


Рис. 2. Часовий хід осередненого прогностичного індексу SPEI\_7 за сценарієм RCP6.0 по регіонах України за період 2021-2050 рр.

ми сезонами з високим зволоженням прогнозується 2025-2030 рр. Починаючи з 2041 р. по всіх північних областях, окрім Житомирської, всі теплі сезони прогноуються посушливими. Найбільш інтенсивні посухи очікуються у 2024 р. та 2045 р., коли індекс SPEI може досягти значень сильної посухи майже по всіх областях.

В східному регіоні України спостерігатиметься подібний до розглянутих вище регіонів часовий розподіл посушливих та вологих періодів. Найбільш зволожені теплі сезони спостерігатимуться у 2022 р., 2028-2029 рр. Посуха 2024 р. очікується слабкою, на відміну від північних та західних областей. Починаючи з 2038 р. переважатимуть теплі сезони з посухою, при цьому найбільшої інтенсивності вони досягатимуть у 2046 р. та 2049 р., коли прогнозований індекс SPEI може досягнути показників сильної посухи.

В центральному регіоні України прогнозується подібний до розглянутих регіонів тренд індексу SPEI. Тобто, з 2021 р. по 2036-2037 рр. переважатимуть умови доброї зволоженості, при цьому виділяються посушливі сезони 2024 р. та 2031-2033 рр., коли за розрахованими значеннями SPEI очікується слабка посуха по всіх областях. Починаючи з 2038 р. спостерігатиметься більше посушливих сезонів, але не в усіх областях однаково. Відмінний від інших областей хід індексу SPEI спостерігатиметься у Вінницькій області, де інтенсивність посушливих сезонів прогнозується дещо вищою, ніж в інших центра-

льних областях. Загалом, найбільш посушливим очікується період 2043-2047 рр., коли посухи за значенням індексу SPEI можуть досягати помірної та сильної інтенсивності.

На півдні України, на відміну від інших регіонів, в першу половину досліджуваного періоду сезонних посух не прогнозується. До 2036 р. переважатимуть помірно вологі сезони або зі зволоженням близько норми. Починаючи з теплих сезонів 2035-2037 рр. очікується загальне збільшення посушливості, при цьому з 2043 р. по 2050 р. майже всі сезони по півдню України прогноуються з безперервною посухою різної інтенсивності, яка в 2047 р. в Одеській області і Криму може досягнути екстремальної інтенсивності.

**Прогнозована повторюваність теплих сезонів з посухою по областях України.** Далі розглянемо, як розподілятиметься кількість теплих сезонів з посухою ( $SPEI_7 < 0$ ) по окремих десятиліттях досліджуваного періоду за обома сценаріями. Як можна бачити з графіків на рис. 3, в рамках кліматичного сценарію RCP4.5 загальна кількість сезонів з посухою за тридцятирічний період по областях України коливатиметься в межах від 13 до 16 років (рис. 3, а), а в рамках сценарію RCP6.0 – в межах від 14 до 17 років (рис. 3, б). Тобто, майже кожний другий теплий сезон може бути посушливим, коли інтенсивність посухи буде коливатися від слабкої до сильної або навіть екстремальної, як показано вище.

За обома сценаріями в усіх областях найменша кількість посушливих сезонів очікується в період з 2021 по 2030 рр. При цьому найбільша кількість посушливих сезонів в цей період прогнозується в західних областях, де кількість посушливих сезонів становитиме 2-3 випадки/10 років в рамках сценарію RCP4.5 та до 4-5 випадків/10 років в рамках сценарію RCP6.0. Найменша кількість посух очікується в південних областях за сценарієм RCP4.5, де лише в Мико-

лаївській області прогнозується один сезон з посухою, а в інших вони будуть відсутні. За сценарієм RCP6.0 найменша кількість посушливих сезонів в цей період припадатиме на східні області (1 випадок на 10 років).

В період з 2031 р. по 2040 р. кількість посушливих сезонів суттєво зростатиме по всіх регіонах і по всіх областях, але з деякими відмінностями між кліматичними сценаріями. За сценарієм RCP4.5 у більшості областей кількість сезонів

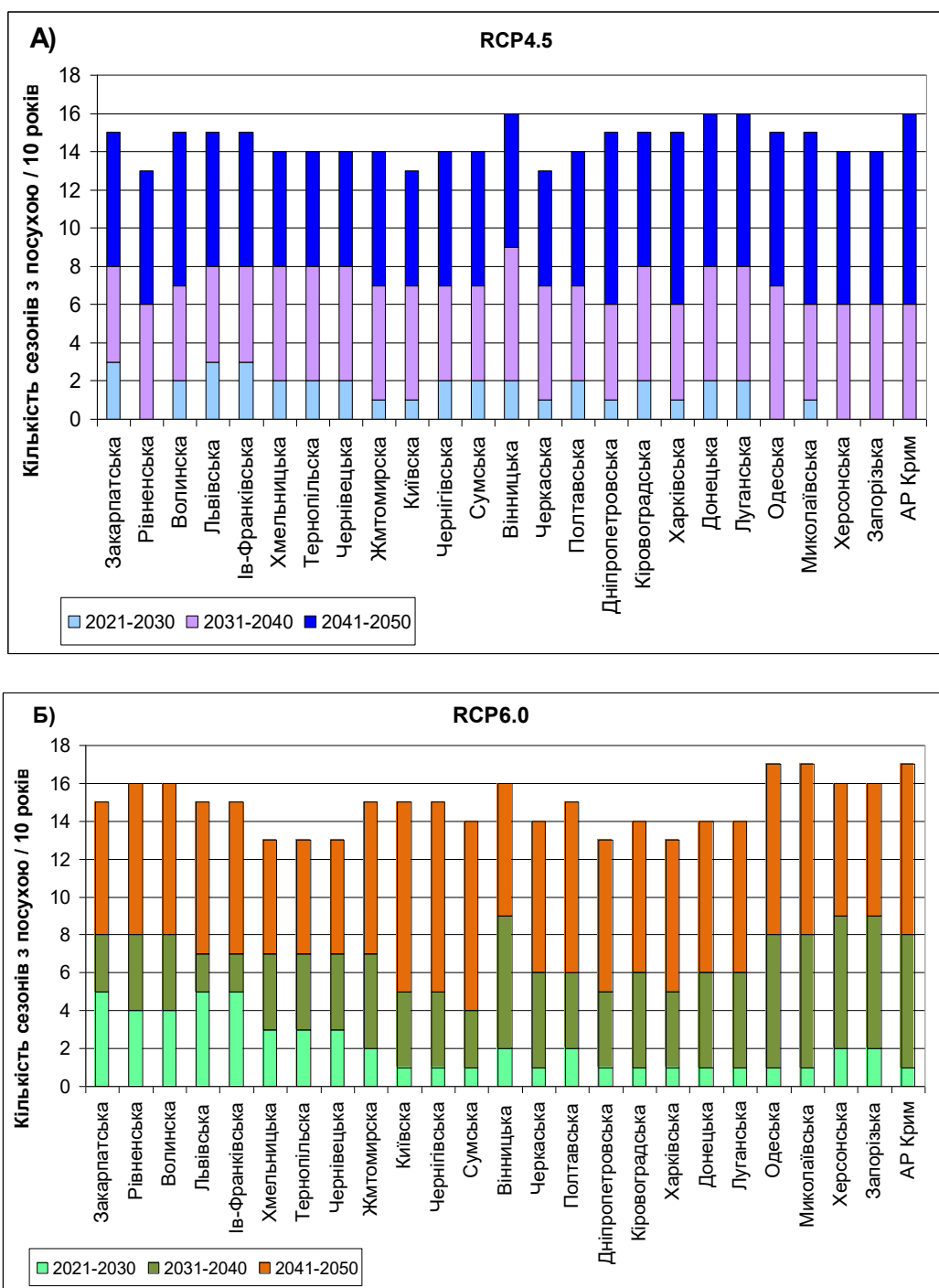


Рис. 3. Прогнозована кількість сезонів з посухою (SPEI<sub>7</sub> < 0) за кліматичними сценаріями RCP4.5 (а) та RCP6.0 (б) в областях України по десятиліттях періоду 2021-2050 рр.

з посухою становитиме 5-6 випадків /10 років, а у Вінницькій області – 7 сезонів з посухою. За сценарієм RCP6.0 в західних областях кількість сезонів з посухою майже не зміниться і коливатиметься від 2 до 4 сезонів/10 років, а в деяких областях (Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська) навіть зменшиться порівняно з попередньою декадою. Найбільше зростання кількості посушливих сезонів прогнозується в південних областях, а також у Вінницькій області, де вони становитимуть 6-7 випадків/10 років.

В останньому періоді з 2041 р. по 2050 р. по всій території України триватиме наростання повторюваності посушливих сезонів в рамках обох сценаріїв.

В рамках сценарію RCP4.5 найбільш часто посушливі теплі сезони спостерігатимуться в південних областях, так в АР Крим всі 10 років очікуються з сезонною посухою, в інших південних областях, а також в Харківській області – по 9 років за десятилітній період. В рамках сценарію RCP6.0 найбільше зростання кількості сезонів з посухою прогнозується на півночі країни, в деяких східних (Донецька, Луганська) та південних (Одеська, Миколаївська, АР Крим) областях, а також в половині західних областей, де кількість сезонів з посухою може досягнути 8-10 випадків/10 років.

**Висновки.** В даному дослідженні проаналізовано часові ряди індексу посух SPEI, які були розраховані для всіх областей України для теплих сезонів періоду 2021-2050 рр. з використанням даних кліматичного моделювання ППСМ5 для сценаріїв RCP4.5 та RCP6.0. В рамках обох сценаріїв отримано, що в усіх областях України спостерігатиметься тенденція переходу від помірно вологих умов у 2021-2036 рр. до посушливих умов у 2037-2050 рр. Особливо посушливою очікується середина 2040-х років, коли в більшості областей України спостерігатимуться майже щорічно сезонні помірні та сильні посухи. Що стосується посух екстремальної інтенсивності, то вони прогноуються переважно в більш м'якому сценарії RCP4.5.

Слід зазначити також інші відмінності, які проявляються в часовому ході індексу SPEI в рамках різних кліматичних сценаріїв. В сценарії RCP6.0, на відміну від RCP4.5, перехідний період від вологих умов до посушливих виявляється досі тривалим – з 2030 р. до початку 2040-х. Протягом цього часу прогноуються міжрічні

коливання індексу невеликої амплітуди в межах [-1; +1] по всіх регіонах, і лише в останнє десятиліття періоду, що розглядається, очікується переважання посушливих сезонів. Крім того, екстремуми індексу SPEI по різних регіонах в сценарії RCP6.0 більш розкидані у часі, ніж в сценарії RCP4.5, за яким часовий хід індексу є досить одноманітним в усіх регіонах країни. Такий характер змін індексу посушливості непрямо свідчить про те, що за умов реалізації кліматичного сценарію RCP6.0 можна очікувати підвищену просторово-часову мінливість атмосферних процесів, які забезпечують температурно-вологісний режим території. Цей висновок також може знайти підтвердження в тому, що на фоні очікуваного збільшення кількості сезонів з посухою в рамках обох сценаріїв в другій половині досліджуваного періоду, за сценарієм RCP6.0, на відміну від сценарію RCP4.5, просторовий максимум повторюваності посух не зосереджений в одному регіоні, а прогноується як в південних, так східних і північних областях, що свідчить про суттєві просторові зміни характеру регіональної циркуляції атмосфери, які прогноуються в рамках більш жорсткого сценарію.

Якщо порівнювати отриманий в даному дослідженні просторово-часовий розподіл посух за сценаріями RCP4.5 та RCP6.0 з результатами щодо інших сценаріїв (RCP2.6, RCP8.5) [11], можна відмітити загальну схожість трендів індексу посухи, які вказують на поступовий перехід від помірно вологих умов у 2020-х роках (з однією значною посухою в середині періоду) до переважно посушливих умов у 2040-х роках, при цьому частота виникнення сезонних посух майже однакова в усіх сценаріях, хоча епізоди тривалих посух доводяться на різні часові проміжки в різних сценаріях. Щодо географічного розподілу максимумів повторюваності посух по території країни, слід зазначити, що в усіх сценаріях прогноується наростання посушливості в західних та північних регіонах країни, де кількість посушливих сезонів наприкінці досліджуваного періоду зрівнюється з південними регіонами, при цьому епізоди екстремальної посухи прогноуються майже в усіх регіонах.

Отримані результати можуть виступати в якості науково-консультативного матеріалу при довгостроковому плануванні і оцінці ризиків господарсько-економічної діяльності різних галузей, перш за все в сільському господарстві.

#### Література

1. Клімат України [Текст] / за ред. В.М. Лінінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
2. Spinoni J. Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts – Past Trends and Future Projections [Text] / J. Spinoni, G. Naumann, J. Vogt, P. Barbosa. – Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2016. EUR 27748 EN. <https://doi.org/10.2788/450449>



3. Spinoni J. Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity [Text] / J. Spinoni, G. Naumann, J. Vogt // *Global and Planetary Change*. – 2017. – Vol. 148. – P. 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.013>
4. Caloiero T. Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index [Text] / T. Caloiero, S. Veltri, P. Caloiero, F. Frustaci // *Water*, 2018. – Vol. 10. – P. 1043. <https://doi.org/10.3390/w10081043>
5. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні. Монографія [Текст] / І. Г. Семенова. – Харків: ФОП Панов А. М., 2017. – 236 с.
6. Semenova I. Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts [Text] / I. Semenova, K. Sumak // *Croatian Meteorological Journal*. – 2017. – Vol. 52. – N 52. – P. 59–73.
7. IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the 5th Assessment Report of the IPCC* [Text] / Stocker, T.F., et al. (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2013. – 1535 p.
8. Семенова І.Г. Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в літній період 2020–2050 рр. [Текст] / І.Г. Семенова, О.А. Інтролігатор // *Географія та туризм*. – 2018. – Вип. 42. – С. 132–142.
9. McKee T.B. The relationship of drought frequency and duration to time scales [Text] / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kliest // *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Anaheim, USA. – 1993. – P. 179–184.
10. Svoboda M. *Standardized Precipitation Index User Guide* [Text] / M. Svoboda, M. Hayes, D. Wood. – WMO–No. 1090: Geneva, 2012. – 17 p.
11. Семенова І.Г. Просторово–часовий розподіл посух в Україні в умовах майбутньої зміни клімату [Текст] / І.Г. Семенова // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2015. – Вип.1 (77). – С. 144–151.
12. Семенова І.Г. Оцінка просторово–часового розподілу посух в Закарпатському регіоні в короткостроковій перспективі до 2050 року [Текст] / І.Г. Семенова // *Укр. гідрометеорол. ж.* – 2016. – № 18. – С. 62–68.
13. Guerreiro S.B. Future heat–waves, droughts and floods in 571 European cities [Text] / S.B. Guerreiro, R.J. Dawson, C. Kilsby, E. Lewis, A. Ford // *Environ. Res. Lett.* – 2018. – Vol.13, No 3. 034009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3>
14. Vicente–Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index [Text] / S.M. Vicente–Serrano, S. Beguería, J.I. López–Moreno // *J. of Climate*. – 2010. – Vol. 23, No. 7. – P. 1696–1718.
15. Beguería S. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, datasets and drought monitoring [Text] / S. Beguería, S.M. Vicente–Serrano, F. Reig, B. Latorre // *Int. J. Climatol.* – 2014. – Vol. 34. – P. 3001–3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
16. Svoboda M. *Handbook of Drought Indicators and Indices* [Text] / M. Svoboda, B.A. Fuchs // *Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2*. – Geneva, 2016. – 46 p.
17. Abramopoulos F. Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration [Text] / F. Abramopoulos, C. Rosenzweig, B. Choudhury // *J. of Climate*. – 1988. – Vol. 1. – P. 921–941.
18. Thornthwaite C.W. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance [Text] / C.W. Thornthwaite, J.R. Mather // *Publications in Climatology. Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, USA*. – 1957. – No. 10 (3). – P. 183–311.
19. Palmer W.C. *Meteorological droughts* [Text] / W.C. Palmer. – U.S. Department of Commerce Weather Bureau, 1965. – Research Paper 45. – 58 p.
20. Vicente–Serrano S.M. A new global 0.5° gridded dataset (1901–2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index [Text] / S.M. Vicente–Serrano, S. Beguería, J.I. López–Moreno // *J. of Hydrometeorology*. – 2010. – Vol. 11. – P. 1033–1043.
21. *Climate Explorer* [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://climexp.knmi.nl/> (Дата звернення: 20.06.2019).
22. *SPEI Calculator* [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://digital.csic.es/handle/10261/10002/> (Дата звернення: 12.08.2019).

**Внесок авторів:** Семенова І. Г. – розрахунки, аналіз результатів, текст статті; Польовий А. М. – консультування при аналізі результатів.

UDC 551.577.38+551.581.1

*Inna Semenova,*

Doctor of Science (Geography), Professor of Department of Military Training,  
Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [in\\_home@ukr.net](mailto:in_home@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>;

*Anatoly Polevoy,*

Doctor of Science (Geography), Professor,  
Head of Department of agrometeorology and agroecology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [apolevoy@te.net.ua](mailto:apolevoy@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>

## PROJECTED DISTRIBUTION OF THE WARM SEASON DROUGHTS OVER THE TERRITORY OF UKRAINE IN 2021-2050

**Introduction.** Drought is a natural phenomenon that occurs in all climates, and is one of the most relevant natural hazards, which propagates through the full hydrological cycle and affects large areas, often with long-term economic and environmental impacts. A prolonged deficit in precipitation over a defined region cause a meteorological drought, while the other types of drought describe secondary effects on specific ecological and economic compartments.

Recent trends in the drought distribution and intensity shows that Europe splits into two big areas, in which the southern and western regions have positive trends of drought frequency, duration, and severity, and the northern and eastern regions show a decrease in this parameters. Regarding the long events, territory of Ukraine belongs to the areas in which a prominent decrease in drought frequency, duration and severity are fixed. But positive trends in the drought characteristics are observed on the Black Sea coast, also in the Carpathian region, many droughts occurred in the past three decades. The **purpose of this study** to examine the results of analysis of the spatiotemporal distribution of warm season droughts (April-October) across the administrative areas of Ukraine in 2021-2050 under the climate scenarios RCP4.5 and RCP6.0 with them comparing.

**Data and methods.** Drought estimation was performed using the SPEI index (the Standardized Precipitation Evapotranspiration index). The inclusion of temperature through the potential evapotranspiration (PET) along with precipitation data allows SPEI to account for the impact of temperature regime on a drought situation.

A drought episode for given time scale is defined as a period, in which SPEI is continuously negative and reaches a value of  $-1.0$  or less. In this study, the gridded fields of monthly air temperature and precipitation intensity from multimodel sets of global CMP5 models are taken for calculations of SPEI. Data access was made through the Climate Explorer. All data were averaged over the area of each of 25 administrative regions of Ukraine.

**Research results.** Analysis of the time series of the calculated SPEI index for both scenarios showed that in all regions of Ukraine there will be a tendency to transition from moderately wet conditions in 2021-2035 to droughty conditions in 2037-2050. In the first half of the study period drought is expected near 2024, as well as in 2030-2033 almost in all provinces except southern areas. In the second half of the period prolonged seasonal drought is projected in 2044-2047 over all Ukraine and in some areas drought may reach an extreme intensity.

Decade analysis of the SPEI7 time series showed that in both scenarios in all regions of Ukraine, the least number of dry seasons is expected from 2021 to 2030. The highest number of dry seasons in this period may reach up to 4-5 cases per 10 years in the western regions under RCP6.0 scenario. In other regions the number of dry warm seasons will be 2-3 cases per 10 years. In the period from 2031 to 2040, the number of dry seasons will increase substantially in all regions of Ukraine under RCP4.5 scenario, in which their number will be 5-6 cases per 10 years. Under RCP6.0 scenario, an increase in the number of droughts will be observed in all areas except the western regions, where will be from 2 to 4 dry seasons per 10 years. In the last decade from 2041 to 2050, in both scenarios, the number of dry seasons will increase throughout Ukraine compared to the previous decade. Under RCP6.0 scenario, the greatest increase is projected in the north of the country and in some other regions throughout Ukraine, where the maximum number of seasons with droughts will reached up 8-10 cases per 10 years.

**Conclusions.** Comparison of the SPEI7 time series for both scenarios showed that under RCP6.0 scenario the transition from wet conditions to dry conditions is projected during long period from 2030 to the early 2040s. In this time, small interannual variations of the SPEI index across all regions are expected, and only in the last decade the dry seasons will prevail. In addition, in the RCP6.0 scenario, maxima of drought

frequency are expected in few different regions of the country, compared with the RCP4.5 scenario, which indicates significant scenarios' differences in the predicted state of the regional atmospheric circulation determined the temperature and precipitation regimes in the future.

**Keywords:** drought, standardized precipitation evapotranspiration index, climate scenario, warm season, precipitation regime, temperature regime.

#### References

1. *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]. (2003). Za red. V.M. Lipins'kogo, V.A. Dyachuka, V. M. Babichenko. Kyiv: Vid. Raevs'kogo, 343.*
2. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P. (2016). *Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts – Past Trends and Future Projections. Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 27748 EN <https://dx.doi.org/10.2788/450449>*
3. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. (2017). *Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity. Global and Planetary Change, 148, 113–130 <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.013>*
4. Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P., Frustaci, F. (2018). *Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index. Water, 10, 1043 <https://doi.org/10.3390/w10081043>*
5. Semenova I.H. (2017). *Sinoptichni ta klimatichni umovi formuvannya posukh v Ukraini. [Synoptic and climatic conditions for the formation of droughts in Ukraine]. Kharkiv: FOP Panov A.M., 236.*
6. Semenova, I., Sumak, K. (2017). *Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts. Croatian Meteorological Journal, 52 (52), 59-73.*
7. IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the 5th Assessment Report of the IPCC [Stocker, T.F., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1535.*
8. Semenova, I.H., Introligator, O.A. (2018). *Tendentsiy maybutniy zmin u rezhimi opadiv v Ukraini v litniy period 2020-2050 rr. [Trends of future changes in the precipitation in Ukraine in the summer 2020-2050]. Geografiya ta turizm, 42, 132-142.*
9. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kliest, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim (USA), 179-184.*
10. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide. WMO - No. 1090. Geneva, 17.*
11. Semenova I.H. (2015). *Prostranstvenno-vremennoye raspredeleniye zasukh v Ukraine v usloviyakh budushchego izmeneniya klimata. [Spatiotemporal distribution of droughts in Ukraine under conditions of future climate change]. Fizicheskaya geografiya i geomorfologiya, 1 (77), 144-151.*
12. Semenova I.H. (2016). *Otsenka prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya zasukh v Zakarpatskom regione v kratkosrochnoy perspektive do 2050 goda. [Estimation of the spatiotemporal distribution of droughts in the Transcarpathian region in the short term until 2050]. Ukrainskiy gidrometeorologicheskij zhurnal, 18, 62-68.*
13. Guerreiro, S.B., Dawson, R.J., Kilsby, C., Lewis E., Ford, A. (2018). *Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. Environ. Res. Lett. 13, 3 034009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaad3>*
14. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. (2010). *A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23 (7), 1696–1718.*
15. Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F. and Latorre, B. (2014). *Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. Int. J. Climatol., 34, 3001-3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>*
16. Svoboda, M., Fuchs, B.A. (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva, 46.*
17. Abramopoulos, F., Rosenzweig, C., Choudhury, B. (1988). *Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration. Journal of Climate, 1, 921–941.*
18. Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology. Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, Center-ton, New Jersey (USA), 10 (3), 183-311.*
19. Palmer W.C. (1965). *Meteorological droughts. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Research Paper 45, 58.*
20. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. (2010). *A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. Journal of Hydrometeorology, 11, 1033-1043.*
21. Climate Explorer. Available at: <http://climexp.knmi.nl/>
22. SPEI Calculator. Available at: <http://digital.csic.es/handle/10261/10002/>

UDC 911.9:553.04

**Myroslav Yakovych Syvyi,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
2 Maxyma Kryvonosa St., 46027, Ternopil, Ukraine,  
e-mail: [syvyjm@ukr.net](mailto:syvyjm@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-3150-4848>;

**Serhij Wolodymyrowych Hulyk,**

PhD (Geography), Lecturer, Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
e-mail: [ser\\_gul@ukr.net](mailto:ser_gul@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-8415-8304>;

**Petro Mychailovych Demyanchuk,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
e-mail: [dempetrom@gmail.com](mailto:dempetrom@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4860-7808>

## THE REGIONALIZATION OF PODILLYA TERRITORY (TERNOPIL, KHYMLNYTSKYI AND VINNYTSIA REGIONS) BY MINERAL RESOURCES

**М. Я. Сивий, С. В. Гулик, П. М. Дем'янчук. РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ПОДІЛЛЯ (ТЕРНОПІЛЬСЬКА, ХМЕЛЬНИЦЬКА І ВІННИЦЬКА ОБЛАСТІ) ЗА МІНЕРАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ.** В статті уперше охарактеризовано територіальну структуру мінерально-сировинних ресурсів Подільського макрорайону. Подано власне трактування мінерально-сировинного району, використане у даному дослідженні, та означено його внутрішню структуру. В межах макрорайону виокремлено шість мінерально-сировинних районів: Вінницький, Хмельницький, Товтровий, Чортківський, Західний та Подністрівський. Усі райони (окрім Чортківського та Подністрівського) відносяться до складного типу, тобто запаси мінеральної сировини зосереджуються в їх межах у вигляді макрокуців, куців та окремих родовищ. Установлено зокрема, що основними складниками компонентної структури мінерально-сировинних ресурсів Поділля є різні види будівельної сировини. Підпорядковане значення мають агрохімічна і технологічна сировина. Мінерально-сировинна база господарського комплексу подільських областей складається фактично із декількох видів будівельної сировини. Передовсім, це вапняки для виробництва вапна, цементна, цукрова сировина, камінь будівельний та сировина для будівельної кераміки. Для виокремлених мінерально-сировинних районів характерна чітко визначена сукупність основних та специфічних (властивих лише для даного району) видів мінеральної сировини і виразний генетичний зв'язок останніх як із окремими стратиграфічними, так і з структурно-геоморфологічними таксонами території. Усі виділені райони (за винятком Чортківського та Подністрівського) – змішаного типу. Більшість територіальних структур мінерально-сировинних ресурсів регіону є комплексними і лише декілька з них класифікуються як групові. У межах регіону переважають полікомпонентні зосередження родовищ і покладів мінеральної сировини, у яких найчастіше домінуючу роль відіграє сировина для будівельної промисловості. У майбутньому зростатиме значення специфічних корисних копалин, які зараз відіграють у районах підпорядковану роль. Це стосуються такої сировини як каолін, графіт, гранат, пеліканіт, флогопіт для Вінницького, крейда і зернисті фосфорити – для Хмельницького, флюсова та скляна сировина – для Західного, гіпси, ангідрити та фосфорити – для Подністрівського мінерально-сировинних районів.

**Ключові слова:** мінерально-сировинні ресурси, мінерально сировина, мінерально-сировинні райони, куці, макрокуці, родовища, гірничопромислові вузли, територіально-виробничі комплекси.

**М. Я. Сывий, С. В. Гулик, П. М. Демьянчук. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПОДОЛЬЯ (ТЕРНОПОЛЬСКАЯ, ХМЕЛЬНИЦКАЯ И ВИННИЦКАЯ ОБЛАСТИ) ПО МИНЕРАЛЬНЫМ РЕСУРСАМ.** В статье впервые охарактеризована территориальная структура минерально-сырьевых ресурсов Подольского макрорайона. Приведено собственное понимание минерально-сырьевого района и означена его внутренняя структура. В пределах макрорайона выделено шесть минерально-сырьевых районов: Винницкий, Хмельницкий, Толтровый, Чертковский, Западный и Поднестровский. Все районы (кроме Чертковского и Поднестровского) относятся к сложному типу, то есть запасы минерального сырья концентрируются в их пределах в виде макрокустов, кустов и отдельных месторождений. Установлено, в частности, что основными составляющими компонентной структуры минерально-сырьевых ресурсов Подолья являются разные виды строительного сырья. Подчиненное значение имеют агрохимическое и технологическое сырье. Минерально-сырьевая база хозяйственного комплекса подольских областей состоит фактически из нескольких видов строительного сырья. Это прежде всего известняки для производства извести, цементное сырье, сырье для сахарных заводов, камень строительный и сырье для строительной керамики. Для выделенных минерально-сырьевых районов характерно четко определенное сочетание основных и специфических (свойственных только одному району) видов минерального сырья и отчетливая генетическая связь последних как с отдельными стратиграфическими, так и структурно-геоморфологическими таксонами территории. Все выделенные районы (за исключением Чертковского и Поднестровского) – смешанного типа. Большинство территориальных структур минерально-сырьевых ресурсов региона комплексные и только несколько из них классифицируются как групповые. В пределах региона преобладают поликомпонентные сосредоточения месторождений, в которых чаще всего доминирующую роль играет сырье для строительной промышленности. В будущем будет возрастать значение специфических полезных ископаемых, которые сейчас находятся в подчиненном положении. Это касается такого сырья как каолин, графит, гранат, пелликанит, флогопит для Винницкого, мел и зернистые фосфориты – для Хмельницкого, флюсовое и стеклянное сырье – Западного, гипсы, ангидриты и фосфориты – для Поднестровского минерально-сырьевых районов.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевые ресурсы, минеральное сырье, минерально-сырьевые районы, кусты, макрокусты, месторождения, горнопромышленные узлы, территориально-производственные комплексы.

**Problem formulation.** At present, in Ukraine the list of questions, related to the systematic study of the problems of the mineral resource base of the country and the mineral resource complex, formed on its basis, and which are within the competence of the sciences of structural and geographical direction, are scarce and limited by geo-ecological problems [1, 6, 15, 16, 17, 18]. At the same time an integrated approach to the study of mineral raw material resources of the separate regions, areas and districts became important long time ago and is important now [13, 14, 19, 27, 28, 29]. Topical issues are those, related to a thorough analysis of the state of mineral raw material resources of the separate regions, to optimize the functioning of mining and processing industries, creating reliable and effective models of balanced and important territory, rational use of mineral resources and environmental protection problems of mining industry regions. This is a range of issues, addressed by structural geography as a science, one of the key tasks of which is the scientific substantiation of rational nature management in the regions to optimize, which includes comprehensive study and consideration of zonal-provincial and local natural resources and the conditions of the use of nature [19, 20, 21].

**The aim** of the economic and geographical regionalization of the Podillya region performed in article was to identify the spatial and time-dynamic patterns of concentration of mineral deposits, distinguishing their place and role in the economic complex of the region; substantiation of proposals for optimization of its structure and functioning efficiency, refinement of the nature use in the whole region.

**Analysis of the latest research and publications.** A systematic study of the Podillya region's mineral raw material resources from a structural and geographical point of view was not practically conducted until the early 2000's. The works that are characterized by mineral resource base of a particular state [2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14] pay too little attention to this region, apparently, because of the lack of significant deposits of raw materials of

national or international importance. Podillya really stands out mainly for construction raw materials. However, taking into account the notable growth rates of production in recent years, it is in the construction industry that will require the development of new raw materials in the near term, and also considering the fact that the mineral specialization of the region is transforming because of the materials of new large reserves agrochemical and technological raw materials, there is a need to reconsider the perspectives of the mineral resource base of the region. In recent decades, several publications [19, 22, 23, etc.], some of them of a system character, have been devoted to the region's mineral raw material because of specialization materials of related problems to this sphere [19]. This paper proposes the regionalization of the Podillya territory by mineral resources, which should help optimize several structures of mining materials because of specialization of Podillya region, ensure the rational use of their mineral base, determine the prospects and directions of development of mineral resources deposit of the region.

**The methodology of research.** The regionalization of the territory of the Podilsk region by mineral resources within three administrative regions was carried out by us based on the methodology proposed in [11, 12] and used by us in a somewhat modernized way [19], taking into account local specificity. The territory of Podillya in our work [21] was singled out as a macrodistrict. Hence, elements of the territorial structure of its mineral raw material resources are the bunches, macrobunches, deposits and individual deposits. The structure of the district in our understanding can be shown on the scheme (Fig. 1).

It should be noted that the term *district* in this work refers to territorial structures that cover an area of approximately 2000-3000 km<sup>2</sup> or slightly larger than in traditional bunches, with a significant number of deposits that are related to the confluence with certain stratigraphic horizons (often up to 1-2, rarely-several) and are located within separate structural-geomorphological units, which are separated

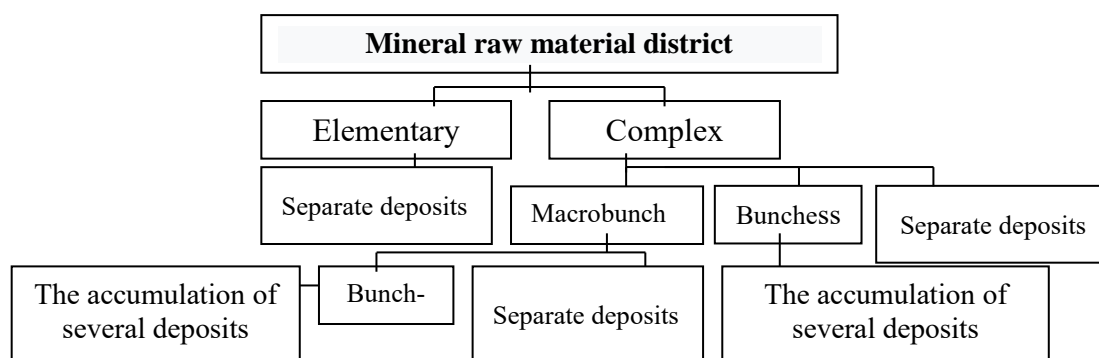


Fig. 1. The structure of mineral raw materials of Podillya districts

by [26]. For example, the Khmelnytskyi district is almost identical to the Khmelnytskyi structural-denudation height, and the dominant types of mineral resources here are clay, sand and peat quaternary and neogene ages. Thus, the main allocation of mineral resources in the work is based on two basic principles: historical-geological and territorial (territorial integrity). Somewhat larger than in the traditional territories of the Podillya districts are explained by the fact that the isolation of such structures within Ukraine [12, 21, 24] was based on the concentration of a certain number of compactly located, as a rule, large and significant industrially significant deposits. Selection of the Podillya districts was carried out mainly with the consideration of many predominantly small stocks of construction material deposits, which are, however, genetically linked and localized in large territories. The district can combine macrobunches, bunches and separate deposits. The definition of the latter is given in the work [19].

All elements of the territorial structure of the mineral raw material resources are divided into groups (not a very successful term in our opinion) and complex [12]. The development of group elements does not lead to the development of interconnected industries. The exploitation of complex ones – causes the formation of industrial territorial complexes. In other words, the forms of concentration of complexes of mineral resources are called the complex forms. Therefore, the analysis of the resource composition, the concentration of reserves, mining conditions of development, the scale of industrial development and participation in the territorial division of labor of such mineral raw material resources makes it possible to determine the feasibility of formation on their basis of mining units of mineral resources.

**Presenting main material.** We have identified six mineral resources districts within the Podilsk macrodistrict: Vinnytsia, Khmelnytskyi, Tovtry, Chortkiv, Western and Podnistrovskyi. Each of them is characterized by a certain complex of mineral resources, basic and subordinate their specificity in their location, genetic connection with certain stratigraphic horizons and structural-geomorphological units, which can be used both in the planning of prospecting for certain types of raw materials, and to address the optimization of the region's mining infrastructure. All districts (except Chortkiv and Podnistrovskyi) are of a complex type, that is, mineral resources are concentrated within their limits in the form of macrobunches, bunches and separate deposits. Their short characteristics is given below.

Vinnytsia (Northeast) mineral raw material district (I) covers the northeastern regions of Khmelnytskyi and the central, northern and eastern regions of

the Vinnytsia region (Fig. 2). The district is located on the southwestern outskirts of the Ukrainian Shield (West Dnieper reservoir-denudation altitude on Precambrian rocks and Gaysyn accumulative-denudation plain), which determines the species composition of the mineral resources of the territory. The main raw materials here are mainly granitoids of the Archean-Proterozoic complex (granites, granodiorites, migmatites, blackheads), which are used as rubble and roll. The share of construction stone dominates the mineral balance of almost all administrative districts of the territory. In addition to the building stone, clay rocks are distributed in the northeast mineral resources bunch as raw materials for building ceramics, construction sand, facing stone, peat, and brown coal. Specific types of raw materials, typical only for the bunch, are primary kaolins formed on granites, and graphite, garnet, pelicanite, phlogopite, mineral radon water. They are all also related to the foundations of the platform.

Within the area there are two bunches: Kozyatyn-Illintsi and Zhmerynka-Kalynivka and Shepetivka bunch.

*The Kozyatyn-Illintsi macrobunch* covers the northeastern regions of Vinnytsia region: Kozyatyn, Pogrebyshe, Lipovets, Illintsi and northern Kalynivka. The extreme northern part of the bunch (north of Kozyatyn district) is occupied by *Kozyatyn bunch*. The decisive role here is played by compactly located deposits of primary kaolins. It focuses on the largest kaolin deposits of Podillya: Velyki Gadomyntsi, Glukhivets and others of interstate importance. High quality of kaolin raw materials, large reserves, compact location of deposits, favorable conditions of the domestic and foreign markets make it necessary to specialize the region for its extraction, enrichment and processing. Kaolin deposits are classified as class B (raw materials with average complex forming ability). Within the scale, a large deposit of interstate cladding granites (Zhezheliv) is being exploited, and a large deposit of silicon mineral water (Kozyatyn), classified as class A.

On the territory of bunches there are also perspective deposits of pelicanites (in the north of the Kalynivka district) and opal awaiting development, many granitoid deposits (especially in the Kalynivka district), which are being developed for rubble and roll. In the Lypivtsi district, the Turbiv kaolin deposit has been developing for a long time. Thus, due to its mineral-specialization, the Kozyatin-Illintsi complex macroscale can be considered as one of the most promising in the region. Mineral raw material resources serve as the basis for the functioning of a small Glukhiv-Turbiv mining hub with a distinct mineral-mineral orientation. The deposits of the Glukhiv-Turbiv kaolin bunch are basic (by geologi-

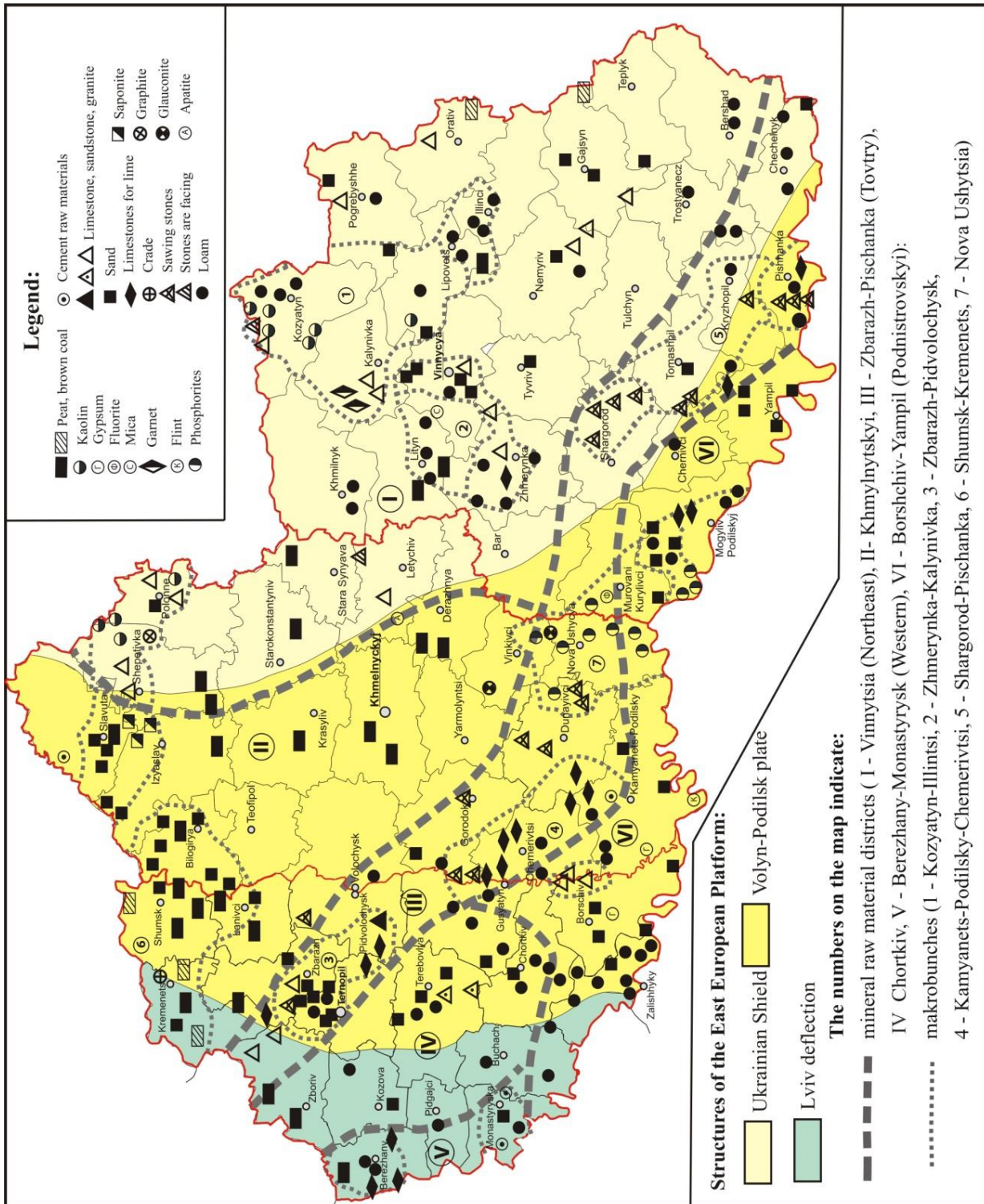


Fig. 2. Economic and geographical mineral resources zoning scheme of Podillya territory

cal regionalization), which have been the object of intensive exploitation for a long time. The mining hub specification is the extraction and processing of kaolin raw materials. There are such powerful enterprises as Turbiv Kaolin Plant, which supplies kaolin concentrate for filling rubber, artificial leather and for pesticide production and one of the most powerful in Ukraine - Glukhiv kaolin mill (extraction of kaolin for porcelain, chemical, light and ceramic) production of cable, rubber, ultramarine, refractories, perfumes); in addition, a shortage-sparse concentrate is produced at the plant from the main production screenings. Within the boundaries of the mining hub, the only quarry of facing granite is being exploited in Vinnytsia, which is being developed by Zhezheliv deposit, as well as a number of quarries that produce crushed stone and rubble stone from granitoid rocks in the Kalynivka district.

In the near future, the share of enterprises, focused on mineral raw materials in the structure of mining hub may increase, and its bunch will significantly expand because of the commissioning of certain deposits of pelicanites (decorative stones, raw materials for the production of low-temperature high-speed glass-fiber cement, crushed stone, cement) in Pohrebyshche, Kozyatyn, Khmilnyk districts as well as a positive solution to the issue of extraction associated with the pelicanites of highly decorative opal of the Talalaiv deposit.

The capacity of the kaolin-mining industry can be significantly increased in the near future after the commissioning of the large Velyki Hadomyntsi deposit, which is fully prepared for development and is characterized by high quality of raw materials, suitable mainly for the production of expensive chalk paper. There is also a powerful reserve of explored kaolin deposits. In general, the future expanded mining hub has virtually unlimited capacity to replenish the kaolin concentrate of the domestic market and its export. It may also include operating companies located in the neighborhood in the Kalynivka district of the only explored in Ukraine deposits of garnet stone (valuable abrasive raw materials) - Slobidka and Ivanivka.

*Zhmerynka-Kalynivka macrobunch* occupies the territory of Zhmerynka, Vinnytsia, northern part of the Tyvriv and southern part of Kalynivka districts. Within its limits it's possible to distinguish three small bunches: Zhmerynka, Vinnytsia and Kalynivka.

Granite rocks of Demydiv, Volodymyrivka, Brailiv and other deposits, suitable for production of rubble, are compactly located in *Zhmerynka bunch*. Only the large Demydiv field is being developed. The Riv limestone is also being exploited field for lime nearby. Also known are the few deposits of limestone-ameliorants and deposits of raw materials for building ceramics.

A similar specialization of raw materials is typical of the *Kalynivka bunch*: it is dominated by compactly concentrated granitoid deposits with significant reserves, suitable for the production of rubble (Ivaniv, Pysarivka, Cherepashyntsi, etc.). Most of them are being operated. Numerous deposits of forest loam are among the building materials. In addition, there is the only known in Ukraine exploited deposit is Slobidka, which is rich in garnet (class B according to the complex forming ability [23]); garnet is also found in the neighbouring Ivaniv garnet deposit, which is being exploited for rubble.

*Vinnytsia bunch* is characterized by numerous deposits of migmatites, gneisses and charnokites, suitable for the production of rubble, clay raw materials for building ceramics and sandy raw materials, located near the regional center. Much of the field is being developed.

The Lukashivka deposit and the Tyazhyliv deposit of silicon mineral waters near Vinnitsia (both fields are of national importance) can be considered as promising. Kalynivka and Vinnytsia bunches are complex territorial mineral resources structures. The high level of territorial concentration of the same types of fields in the bunches opens favorable prospects for their joint exploitation, use of common access roads, sources of energy and water supply, use of waste, etc. The Vitava deposit is somewhat separated within this macrobunch of granitoids (Tyvriv district), which is being developed by Gni-van Quarry.

*Shepetivka (or Shepetivka-Polonne) complex bunch* covers the eponymous districts and is characterized by significant concentration of deposits of granitoids (granites, granodiorites, gneisses) here, the share of which sharply prevails over other types of raw materials (Klymentovyshi, Sudylykiv, Polonne etc.). The deposits are characterized by a high degree of development and they are mainly developed for rubble. Deposits of highly decorative defects for facing needs have not yet been identified (except, perhaps, the Sudylykiv deposit, whose granodiorites are recognized as suitable for the production of facing blocks).

A group of very densely concentrated deposits of primary kaolins (Maidan-Villa deposits, Polonne, etc.) is a specific mineral raw material of the bunch. Deposits are not characterized by high levels of development and are of local importance. Burtyn graphite deposit and refractory clay deposit of the same name have been discovered within the bunch. The first of these has an interstate value and good prospects for exploitation in the near future. There are also known deposits of raw materials for building ceramics, peat, as well as two deposits of radon water (Polonne and Shepetivka), which are not being developed and can have complex-forming sig-



nificance. Other types of raw materials of the bunch are of local importance.

On the basis of the complex Shepetivka-Polonne bunch, the mining hub of the same name was formed and operates now. Its specialization is defined by the kaolin raw materials extraction and processing enterprises. There is a whole network of diversified businesses enterprises, focused on the production and consumption of primary kaolins. Operations of the Maidan-Willa group of deposits are undertaken by such enterprises as Maidan-Willa Combine of Refractories Ltd and state enterprise Burtyn Refractory Plant, state enterprise Polonne Mayak Plant, whose products are refractory bricks and fireclay powder, as well as commercial structures, Polonne Porcelain Factory Ltd, etc. The kaolin concentrate is used by the Poninkiv Cardboard and Paper Factory and until recently by the Polonne Factory of Artistic Ceramics. In addition, it should be said that a number of primary kaolin deposits are included in the neighborhood of Zhytomyr region, which are included in the kaolin district described in the Dubrivka-Khmelivka district. Baranivka Porcelain Factory has been functioning on its basis, until recently several porcelain and earthenware enterprises in Baranivka district of Zhytomyr region were operating, which should be considered (together with Khmelnytskyi) as a part of a single mining hub of mineral - raw material orientation.

In the future, after the completion of the Glukhiv-Turbiv mining hub, a large multi-sectoral complex may be formed that will unite the two characterized structures (Glukhiv-Turbiv and Shepetivka-Polonne mining hubs), as well as the neighboring Slavuta mining hub. Thus, in the northern regions of the Khmelnytskyi and Vinnytsia regions, a large territorial-industrial association with a distinct mineral-raw orientation is being formed.

**The Khmelnytskyi mineral resources district (II)** covers the northern regions of Ternopil and the central and northwestern of Khmelnytskyi Region and corresponds to the Khmelnytskyi structural and denudation heights, the Kremenets gorgory and Slavuta alluvial-glacial glacier. The main mineral resources here are raw materials for construction and coarse ceramics and expanded clay, represented by quaternary loam and neogene clays, as well as construction sands and peatlands of quaternary age. The specific raw materials of the area are construction chalk, saponites, glaukonite and granular phosphorites, which have been intensively explored in recent years. Small deposits of limestone-ameliorants and mineral waters of sodium chloride type are also known. We distinguish Shumsk-Kremenets macrobunch and Slavuta bunch within the district.

*The Shumsk-Kremenets macrobunch* covers the Kremenets, Shumsk, northern Lanivtsi districts of Ternopil and Bilogiria districts of Khmelnytskyi regions. The decisive specificity of macrobunch is the increased concentration of peat fields, which occupy large bunches and are often interconnected. Deposits of brown coal and construction chalk are typical for this bunch. Construction sands are widespread (especially in the Bilogiria district). Mainly peat deposits, periodically - small sand deposits and the only cretaceous deposit (Pidlissti) are used. Mineral resources of the macrobunch are locally relevant and not complex forming. The prospects for the newly discovered granular phosphorite deposits in the northern regions of Ternopil and Khmelnytskyi regions are being evaluated.

The peculiarity of the *Slavuta bunch* (Slavuta and northern Izyaslav districts) is that there are almost no deposits of crystalline shield rocks used as a building stone and are crucial for the neighboring Shepetivka bunch. The only Mukhariv deposit of pink granites suitable for cladding is known. The characteristic mineral resources of the Slavuta bunch are, above all, numerous deposits of construction sands, which are very compactly concentrated in the southwestern part of the Slavuta and adjacent bunches of Izyaslav districts. Sand fields are characterized by considerable reserves and various purposes (for building mixtures, silicate bricks, concrete, road pavements, etc.) and are being intensively exploited. Specific raw material for the bunch is the recently discovered deposits of *saponites* - valuable agrochemical raw materials (code B-IIb according to [23]). In addition, within the bunch a few deposits of raw materials for construction ceramics and a large deposit of clay (Kryvyn) are being explored, suitable for cement production. Agrochemical and cement raw materials of the Slavuta bunch have average complex-forming properties, so the bunch can be considered complex.

On the basis of the fields of Slavuta bunch, a small mining hub was formed, mainly of a construction direction. Large reserves of sandy raw materials of various purposes, and very tightly concentrated, which contributes to their efficient operation, have become the basis for the functioning of a number of enterprises focused on the production of construction profile products: Slavuta plant "Budfarfor", Slavuta plant of reinforced concrete products, factory glassware (the last two are not currently working). In addition, there are several brick factories operating within the Slavuta mining hub, the Slavuta saponite raw materials workshop. In the future, it is expected to expand the extraction of mineral raw materials primarily agrochemical purposes (saponites, granular phosphorites) with average complex-forming activity and nationwide value, so it is pos-

sible to predict the increase of industrial potential of mining hub by investing funds in the construction of new products and development and phosphoric flour, production of mineral fertilizers, compound feeds, etc.). Certain perspectives of the district are associated with the development of the Kryvyi Rih clay deposit for the cement industry and the Mukhariv deposit of facing granites, which, after further exploration, may be of national or even interstate importance.

**The Zbarazh-Pischanka (Tovtry) mineral resource district (III)** extends as a stripe from the northwest to the southeast through all Podillya district (Fig. 2). The bunch completely covers Tovtry ridge within the Ternopil and Khmelnytsky regions (Podilski Tovtry) and from Kamianets-Podilskyi continues in the east, then in southeastern directions all the way to Pischanka and Chechelnik districts of Vinnytsia region (Murafski Tovtry). The main raw materials within the bunch are miocene limestone, mainly sarmatian tier: oolitic, detrital, reef, often recrystallized. Limestone is primarily used as saw stone, raw materials for calcining lime, sugar mills, cement, construction (rubble and rubble) industry. Types of raw materials that are of subordinate importance in the bunch are construction sands, clay rocks for building ceramics, limestone ameliorants. Within the bunch there are such specific resources as mineral waters Zbruchansk Naftusia, sodium chloride and others, which have complex-forming significance. On the territory of the district we distinguish three macrobunches: Zbarazh-Pidvolochysk, Kamianets-Podilsky-Chemerivtsi and Sharгород-Pischanka.

*Zbarazh-Pidvolochysk polycomponent macrobunch* is located on the territory of the eponymous districts, also covers the northern part of the Ternopil district. Within it, two bunches are clearly distinguished: 1) Ternopil, mainly monocomponent, group, represented by numerous miocene deposits of construction sands, very compactly located, some of which are operated; 2) Galushchyntsi-Maksymivka, also mainly monocomponent and group, located in Zbarazh and Pidvolochysk districts. Several large deposits of miocene age limestone are concentrated here, which are used as building stone, raw materials for lime, flux raw materials (Galushchyntsi and Maksymivka), raw materials for sugar mills (Polupanivka, Novosilka), liming of acid soils.

*Kamianets-Podilsky-Chemerivtsi polycomponent macrobunch* is also quite clearly differentiated into two bunches: 1) *Kamianets-Podilskyi*, which occupies mainly the northern part of the eponymous and adjacent section of Chemerivtsi districts. The main mineral raw material here is miocene age limestone, suitable for use in cement production (Humentsi deposit) - class B in complex-forming

capacity, for calcining lime (Nigyn-Verbka, etc.), sugar mills (Verbka, Nigyn-Verbka etc.) as ameliorants, raw materials for the production of rubble (Kyzhelivka, etc.). Limestone deposits are mainly large and medium-sized, well-developed; 2) *Chemerivtsi*, located in the northern part of the district and represented by compactly concentrated deposits of limestone for sugar mills (Lysogirka, Karachkivtsi, etc.), lime production (Zakupne, Kovalivka, etc.), limestone-ameliorants, sawdust and limestone. Nearby - in Husyatyn and Gorodok districts there are unique Novozbruchansk and Zbruchansk mineral water deposits of the type Zbruchansk Naftusia, which have complex-forming significance.

On the basis of macrobunch, the same-named mining hub is formed, the basis of which is a series of mining enterprises producing products for the construction industry and several enterprises consuming mineral resources (Ukrtsukoramkin Association, Podilskyi Tovtry, Zakupnyansky quarry, Nigynskyi quarry, Zubrivsk quarry, which produces crushed stone for the Kamenets-Podilsky plant of building materials, etc.).

Several mining enterprises in the Borshchiv district of the Ternopil region, which develop silurian limestones for road-building needs, should be included in the structure of the mining hub described. The Ternopil quarry here exploits the Brodok Right Bank deposit, the Burdyakiv special career - the Brodok Left Bank, and Skala-Podilsk - the deposit of the same name. Quarry products are crushed stone and rubble stone. Gipsovik produces sawstone at Teremtsiv field of limestone, and also develops gypsum deposits of Kudryntsi deposit for the needs of cement production. Within the mining hub there is a powerful cement plant (Closed Jointed-Stock Company Podilsky Cement), which uses the raw materials of a large complex of the Gumentsi deposit (limestones, clays). In addition, there are several sugar mills within the borders of the mining hub, about a dozen small brick mills, Commercial Firm Zakupnyansky inter-farm feed mill (the latter is a potential consumer of limestone for feed additives that are not being developed), Kamianets-Podilskyi bitumen plant operates within the described territorial association.

Expansion of the mining enterprises' network in this territory by putting into operation the explored reserves of carbonate raw materials is kept by the need to preserve the unique landscapes of Podillya Tovtry, where almost all quarries or deposits of raw materials for the sugar, cement and other industries are located. In addition, the opening of new mining enterprises will worsen the ecological status of the Sataniv-Makiv territorial recreation complex, whose territory overlaps with the area described by the

mining hub. Therefore, to consider the prospects of expanding the mineral base of mining hub, in our view, is inappropriate, and the planning of prospecting for the identification of new sources of raw materials for the sugar and cement industries should be carried out in other areas [19].

A small bunch, represented by several large deposits of saw limestones, limestones for lime production and limestones of the sarmatian age, stands to the east of Dunaivtsi town. Deposits are not being developed. Minor travertine deposits are also known here.

*Shargorod-Pischanka macrobunch* covers the territory of Shargorod, Tomashpil, Kryzhopil and Pischanka districts of Vinnytsia region. Within it, two deposits are clearly distinguished: Shargorod and Pischanka.

A feature of the *Shargorod bunch* is the sharp predominance of sarmatian limestone (sawdust) limestone deposits on its territory (Derebchyn, Sapezhanka, etc.). Most of the fields are developed underground, but there are opportunities for the introduction of separate fields and open mode of operation. All fields are concentrated very compactly, which creates favorable conditions for their joint development. Along with the deposits of the tess limestones, there are insignificant reserves of limestone deposits for lime, limestone-ameliorants, for sugar mills, limestones and granites for the production of rubble. The bunch is classified as a group bunch.

Within the *Pishchanka bunch*, the sarmatian tier limestone deposits, which are intensively exploited (Dmytrashkivka, Dmytrashkivka-Trudove, etc.) also prevail. However, unlike the Shargorod bunch, there are large reserves of limestone for sugarmaking (Studenivka deposit). Small deposits of limestone for lime and land reclamation, as well as small deposits of building sand and clay raw materials for building ceramics have also been explored. All deposits of the bunch are classified as class B [23].

In the future, it is likely that a small polycomponent bunch will be formed in the Tomashpil district, where two large Tesso deposits (Stina-Rusava and Stina) are now explored in detail; next to the previously explored Vyla field of limestone for sugar mills, there are also known insufficiently studied deposits of sandy raw materials, small deposits of limestone for reclamation and rubble. All deposits are compactly located in the western part of the district, and refer to class C [23].

***Chortkiv mineral resources district (IV)*** is similar to Khmelnytskyi and is located west of Tovtry strand. The area covers the watershed sections of the river basins of the Zolota Lypa, Koropets, Strypa, Seret and generally coincides with the Ternopil structural-denudation height. Typical

rocks for this area are loam and clay quaternary and neogene age, which are used as raw materials for construction and rough ceramics, expanded clay and agglomerate raw materials. Quaternary peat deposits, which are widespread mainly in Zboriv, Ternopil, Terebovlya and Kozova districts, are also characteristic. In the district there are also common building sands, facing stone, marls of cretaceous age. Sulfide and other types of mineral waters, which are complex-shaped and explored in the Terebovlya district, Konopkivka sulfur manifestation in the same area, phosphorites in the Buchach district may be considered as specific raw materials for the area. The deposits of loam and other raw materials are distributed over the territory of the district more or less evenly and do not form significant clusters, that is, the area according to the internal structure can be considered as elementary, in the presence of complex-shaped mineral resources deposits-complex.

***Berezhany-Monastyrysk (V) (Western mineral raw-material district)*** is only partially located in the Ternopil region and covers its extreme western part and generally corresponds to the western part of the Opillia structural-denudation height. In the area, the dominant minerals are limestones and marls, mainly badenian, rarely turonian. They serve as raw materials for the cement, sugar and lime industries. Loams (raw materials for building ceramics), small limestone deposits for the production of rubble are also widespread within the district. Jurassic dolomites - raw materials for the glass and metallurgical industry of national importance (code C-IIa) and sand for glass production (C-IIc) can be considered as specific raw material of the area [23]. The area can only be considered relatively complex - fossils with medium complex-forming properties are small reserve deposits of cement raw materials, the industrial prospects of which are not defined. Two large mineral-bearing bunches stand out: Berezhany and Monastyrysk.

*Berezhany bunch* is located on the territory of the eponymous district. It is characterized by a dense concentration of deposits of carbonate raw materials - limestones and marls for burning lime (Pidvysoke, Berezhany, Volytsia, etc.), cement (Verbiv, Lapshyn, Posukhiv) and sugar (Potutory). With the exception of Pidvysoke, not all fields are currently being developed. Within the bunch, significant deposits of construction sands (Berezhany, Volytsia, etc.) and a small Rogachyn deposit of glass sands of national importance are also discovered, and other mineral resources of Berezhany bunch are of local importance.

The main mineral raw materials of the *Monastyrysk bunch* are also rocks suitable for the needs of the cement industry - the only one, taken into ac-

count by the State Balance, the Bertnyky limestone deposit and the previously explored complex Grygoriv deposit. Nearby are limestone deposits suitable for lime production, reclamation, large Goncharivka and other deposits of raw materials for building ceramics, small, poorly studied deposits of construction sand. In addition, a large dolomite deposit of Korzhiv suitable for the glass and metallurgical industries is being developed here. Dolomites are exported outside the area and identified by the code (C-IIa) [23].

**Borshchiv-Yampil (Podnistrovskiy) mineral-raw material district (VI)** stretches as a stripe along the left bank of Dniester river from Monastyrsk district in Ternopil region till Yampil in Vinnytsia and in general coincides with Prydnistrovska structure – denudation and Mohyliv-Podilskiy denudation highs. Northern boundary lies approximately on the line Buchach – Borshchiv. The characteristic mineral resources of the region are ancient proterozoic and paleozoic rocks (sandstones, limestones, granites, blacks, etc.), which are deposited in deep-cut valleys of the Dniester and its left tributaries and used as building stones (mainly rubble and roll). These include deposits of red-colored devonian sandstones in Buchach district, vendian sandstones in Mohyliv-Podilskiy, Murovani-Kurylivtsi and Yampil districts, silurian limestones in Borshchiv and Kamyanets-Podilskiy, crystalline rocks in Mohyliv-Podilskiy, Chernivtsi and Yampil districts. There are also known sarmant limestones for lime, building sands, raw materials for building ceramics. Specific to the area are primarily rich deposits of baden gypsum and anhydrite in Borshchiv and Kamyanets-Podilskiy areas, deposits of sand-gravel mixtures from alluvial deposits of the Dniester in Zalishchyky, Kamyanets-Podilskiy and Yampil districts, abrasite and abrasite deposits raw materials (formation flakes) - Grynchuk deposit in Kamyanets-Podilskiy district. Complexes forming deposits should be considered to be the deposits of sodium chloride-mineral waters of the Mirgorod type, explored in the Mohyliv-Podilskiy district and bromine chloride-sodium waters, the deposit of which is known near Kamyanets-Podilskiy, and its manifestations – in Buchach district.

No clear deposits and macro-deposits were found within the area. Deposits of mainly construction materials are spread over the area more or less evenly. Some of their accumulations can be noted in the northern part of Borshchiv district, where several deposits of silurian limestones, suitable for rubble and roll, are compactly located; numerous manifestations of trembling in the Mohyliv-Podilskiy district are tightly concentrated; there are several small granitoid deposits in Chernivtsi district of Vinnytsia region and a number of other small deposits of con-

struction materials. Mineral waters of Mirgorod type and bromine chloride-sodium are identified by the code (B-IIb) [23]. Crystalline rock deposits for construction purposes can be of national (with significant reserves) value. Other types of minerals in the area (except for the small Grynchuk field of flint deposits that are being exported) are of local importance.

In the neighboring districts of the Khmelnytskyi and Vinnytsia regions, the *polycomponent macrobunch (Nova Ushytsia)*, which occupies the territory of Nova Ushytsia, Murovani-Kurylivtsi, part of Kamyanets-Podilskiy, Vinkivtsi, and Mohyliv-Podilskiy districts, and partially occupies the territory of Podnistrovsk, Tovtry and Khmelnytskyi area. The peculiarity of macro-bunch is the presence of numerous deposits and manifestations of phosphorites - specific and granular. Within the macro-bunch, glauconite and apatite deposits are also known, that is, the specificity of the territory lies in the accumulation of mainly agrochemical raw materials here, which is not currently being developed, but which we have referred to as strategic (apatites, phosphorites) [23, 25] and in the future, after a detailed assessment can get a nationwide importance.

On the basis of the resources of the agrochemical raw materials of the Nova Ushytsia macrobunch, it is possible to predict the formation of a mineral-raw material orientation in the future mining hub especially since the Bakhtyn deposit of the fluvial spar – strategic raw material is explored in the areas of the macrobunch in the Murovano-Kurilivets region. Formation of a small mining hub here may begin in the near term with the introduction of this scarce raw material deposit (code C-IIc) into operation in Ukraine. A comprehensive approach to the extraction and processing of fluorite raw materials involves the construction of a mining and processing plant that will produce fluorite, feldspar and quartz concentrates. For recycling quartz concentrate can also be built factories of glass and silicate brick.

The basis for the formation of the three resort and recreation hub allocated by us within the Podillya region were first of all the rich mineral and mineral waters discovered here, as well as other favorable factors – climatic, ecological-geomorphological, landscape, cultural-historic, etc.

For example, a small Konopkivka mining hub was formed on the basis of the Konopkivka sulfide water deposit in the Terebovlya district of Ternopil region. Here there is a sanatorium "Medobory" in the village Konopkivka, a health complex for agricultural workers in the village. Nastasiv and Mykulyntsi water treatment hospital (on the basis of therapeutic mud deposits near Mykulyntsi village). All health resorts specialize in the treatment of diseases of the muscle skeletal system, peripheral

nervous system, skin. There are also several water displays located near Mykulyntsi (Sorotske, Kozivka, etc.). Significant predicted sulfide water resources and favorable environmental conditions make it possible to positively evaluate the prospects for the development of resort and recreation hub.

The great resort and recreation hub (Sataniv-Makiv) Formation is based on the development of the unique mineral healing waters of the Zbruchansk Naftusia type of healing mineral water. The deposits are located in the Zbruch River basin in the Ternopil and Khmelnytsky regions and in the valley of the Muksha Dunaivtsi and Kamianets-Podilskyi districts of the Khmelnytskyi region. The deposits are mainly complex and also contain waters with specific components: bromine chloride-calcium-sodium and mirgorod type. The latter are either currently unused or underused. Therefore, resort and recreation hub health resorts are generally focused on the use of Naftusia waters. On their basis, the preventive office of the Volochysk Machine building Plant (Volochysk field), sanatoriums in the village of Sataniv - "Tovtry", "Zbruch", "Berizka" (Zbruchan-ske field), sanatorium "Zbruch" in Husiatyn (Novozbruchanska), "Ukraine" in the village Makiv (Makivske field), sanatorium "Forest song" in the village Privorittia (Mukshyn field). On the basis of bromine waters of high mineralization of Kamianets-Podilskyi field there is a sanatorium "Podillya" and a health center in Kamianets-Podilskyi.

There are also plants working here for industrial bottling of medicinal and table mineral waters "Novozbruchanska", "Zbruchanska", "Tovtry", "Pearl of Podillya", table waters "Vilhivchanka", "Podolianochka", "Kamianets-Podilskyi", "Dariya" and others.

There are real opportunities in the area for expanding the wellness network primarily by making full use of the explored reserves of exploited fields and putting into operation reserve explored fields (Kamianka, Zaychykiv, etc.).

There is also an opportunity for expanding the range and enlarging the production capacity of industrial bottling plants for medical and natural water. Unique combination of landscape and climatic conditions of Podilski Tovtry, therapeutic properties of several types of mineral waters, ecologically clean territory and other favorable factors (creation of Tovtry resort with special investment regime) allows to predict further expansion and branching of functional structure, functional transformation of the leading resort areas in Ukraine and gaining international status in perspective.

The third small resort and recreation hub (Khmilnyk) was formed on the basis of two radon water deposits in Khmilnyk district of Vinnytsia region - Khmilnyk and Novokhmilnyk. The waters

of the fields are used by the Khmilnyk sanatorium, the Central Khmilnyk Military Clinical Sanatorium, the Podillya inter-economic sanatorium, the Road Clinical Hospital No. 2, the Medical Rehabilitation Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, the Regional Physiological Hospital of the Regional State Administration. There are also opportunities to increase the production of radon water for balneological purposes.

Formation of small is possible in the future on the basis of the Nemyriv radon water field in Vinnytsia region, the operation of which has recently started by the "Avangard" sanatorium (the field is characterized by high reserves - more than 400 m<sup>3</sup>/day [8]), as well as in Shepetivka and Polonne districts of Khmelnytskyi region after commissioning of the same name deposits. At present, the radon waters of the Shepetivka field are being used in a small amount by the Shepetivka City Hospital.

### **Conclusions.**

1. The main constituents of the component structure of the Podillya mineral raw material resources are the various types of construction materials. Agrochemical and technological raw materials are of subordinate importance.

2. Mineral raw material base of Chortkiv, Tovtry and Western mineral resource districts are made up of virtually several types of construction materials (except for valuable mineral deposits). First of all, it is limestone for the production of lime, cement, sugar, construction stone and raw materials for building ceramics. In the Khmelnytskyi district, several types of mineral resources are also sharply dominated: raw materials for building ceramics and expanded clay, building sands and peat. In the five administrative districts, 1-2 types of mineral raw materials were explored. The Vinnytsia district is characterized by the predominance of granitoids used as rubble stone and roll. The share of construction stone dominates the mineral balance of almost all administrative districts of the territory. Loam as raw material for building ceramics, building sand, facing stone, peat, brown coal are also common. Thus, the area's resources are characterized by a very narrow spectrum of explored mineral raw materials, especially with significant reserves. Only four administrative districts differ in the availability of several (4 - 8) types of mineral raw materials.

3. In general, in the structure of the mineral raw material resources of the region, the most significant is the proportion of construction stone, which is three times larger than the share of such raw materials as cement, limestone for lime, brick-tile.

4. Distinctive mineral resources regions are characterized by a well-defined set of basic and specific (characteristic only for this area) types of mineral resources and a distinct genetic connection of

the latter with individual stratigraphic units (groups, systems, divisions, tiers) and structurally - geomorphological taxaones of the territory. All selected areas (except Chortkiv and Podnistrovskiyi) are of mixed type.

5. Most of the territorial structures of the mineral raw material resources in the region are complex and only a few are classified as grouped.

6. Within the region, multicomponent concentrations of mineral deposits and deposits dominate, in which raw materials for the construction industry most often play a dominant role.

7. In the future, the importance of specific mineral resources, which now play a subordinate role in the districts, will increase. These include raw materials such as kaolin, graphite, garnet, pelicanite, phlogopite and fluorite (strategic raw material) for Vinnytsia, chalk, glauconite (as a unique natural sorbent), apatite, saponite and granular phosphorites - for Khmelnytskyi, flux and glass raw materials - for the West, gypsum, anhydrite and phosphorites - for the Podnistrovskiyi region.

8. According to the degree of industrial development of the existing explored reserves of the mineral resources, mineral raw material resources of Podillya belong, according to the classification [3], to the first (20-30%) and second (30-40%) groups.

9. On the basis of the explored deposits of solid mineral resources of the region, several mineral-oriented mining hubs were formed and are functioning now: Shepetivka-Polonno, Glukhiv-Turbiv, Slavuta and Kamianets-Podilskiyi - Chemerivtsi. In the long term, it is possible to form a Nova Ushytsia mining hub focused on the extraction and processing of agrochemical raw materials (phosphorites, apa-

tite, glauconite), as well as the merger of three mining hubs in the northern part of the Podillya region. In the near future, the formation of a small mining hub may begin, subject to the commissioning of the integrated Bakhtyn deposits of luorspar.

10. The fields of medicinal and medical-table waters of Podillya are basic for formation in the region of resort and recreation hub: Konopkiv, Sataniv-Makiv and Khmilnyk. The health-specificity of the latter is determined, first of all, by the properties of the mineral waters on the basis of which they function. The further expansion of the Sataniv-Makiv resort and recreation hub is projected with the prospect of creating a large resort of international importance. Formation of small blood vessels can be predicted after the beginning of development of radon mineral water deposits in the North-East region.

11. There is an urgent need to create cadastres of mineral resources at the regional level (regions, administrative districts, integrated territorial communities) in order to accurately assess their potential, determine priorities in the development of local mineral raw materials complexes, provide scarce mineral resources for the territories .

12. We consider that results presented in the article are only the first stage of the research. The next stages will include detailing the mineral potential of the region, in particular the balance, off-balance and forecast resources of minerals, the degree of deposits exploration, current and potential opportunities of their use within selected mineral areas which may serve as a basis for clarifying their boundaries or even the allocation of new structural units of the territory.

#### Bibliography

1. Адаменко О. М. Екологічна геологія: підручник [Текст] / О. М. Адаменко, Г. І. Рудько. – К.: Манускрипт, 1998. – 349 с.
2. Бурка В. Й. Географічні особливості мінерально-ресурсної бази будівельно-індустріального комплексу Північно-Західного економічного району [Текст] // Науковий вісник Чернівецького університету імені Ю.Федьковича. Вип. 762–763. Географія. – 2015. – С. 117–126.
3. Вишва С.А., Регіональні аспекти розвитку й відтворення вітчизняної мінерально-сировинної бази та способи їхнього фінансового забезпечення [Текст] /С.А. Вишва, М.М. Курило, А.Р. Балега // Мінеральні ресурси України. №4. – 2018. – С. 12–17.
4. Горленко І. О. Мінеральні ресурси та формування промислового комплексу економічного району [Текст] / І. О. Горленко // Розміщення продуктивних сил УРСР. Вип. 10. – К.: Наукова думка, 1969. – С. 36–44.
5. Горленко И. А. Экономико-географический анализ минерально-сырьевых ресурсов [Текст] / И. А. Горленко // Конструктивно-географические основы рационального природопользования в Украинской ССР. – К.: Наук. думка, 1990. – С. 89–92.
6. Іванов С. Геокадастрові дослідження гірничопромислових територій [Текст] / С. Іванов. – Львів: Видав. центр Львів. ун-ту, 2009. – 371 с.
7. Кілінська К. Й. Сучасні тенденції використання мінерально-сировинних ресурсів Чернівецької області [Текст] / К. Й. Кілінська, В.І. Костащук // Історія української географії. Вип. 22. – Тернопіль, 2010. – С. 128–134.
8. Корпан Н. В. та ін. Мінеральні ресурси України. Щорічник [Текст]. – К.: ДНВП Геоінформ України, 2018. – 268 с.
9. Мищенко В. С. Економічні пріоритети розвитку й освоєння мінерально-сировинної бази України [Текст] / В. С. Мищенко. – К.: Наук. думка, 2007. – 360 с.

10. Мищенко В. С. Програмне планування розвитку мінерально-сировинної бази України: методологія і практика [Текст] / В. С. Мищенко. К.: ДУ ІЕПСР НАН України, 2011. – 156 с.
11. Паламарчук М. М. Минеральные ресурсы и формирование промышленных территориальных комплексов [Текст] / М. М. Паламарчук, И. А. Горленко, Т. Е. Ясюк. – К.: Наук. думка, 1978. – 220 с.
12. Паламарчук М. М. Економічна і соціальна географія України з основами теорії [Текст] / М. М. Паламарчук, О. М. Паламарчук. – К.: Знання, 1998. – 416 с.
13. Руденко Л. Г. Конструктивно-географічні напрями регіонального природокористування у зв'язку з розвитком мінерально-сировинної бази України (концептуальний аспект) [Текст] / Л. Г. Руденко, В. П. Палієнко, Л. М. Шевченко та ін. // Український географічний журнал. – 2003. – № 4. – С. 11–18.
14. Руденко Л. Г. Підходи, принципи та методи конструктивно-географічних досліджень регіонального природокористування у зв'язку з розвитком мінерально-сировинної бази України [Текст] / Л. Г. Руденко, В. П. Палієнко, В. Д. Байтала та ін. // Український географічний журнал. – 2004. – № 3. – С. 13–19.
15. Рудько Г. І. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничо-промислових і нафтогазових комплексів [Текст] / Г. І. Рудько, Л. Є. Шкіца. – Ів.-Фр.: ЗАТ Нічлава, 2001. – 525 с.
16. Рудько Г. І. Екологічні ризики при розробці родовищ корисних копалин [Текст] / Г. І. Рудько, О. І. Бондар // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 5. – С. 75–83.
17. Рудько Г. І. Ресурси геологічного середовища та екологічна безпека техноприродних систем [Текст] / Г. І. Рудько. – К.: ЗАТ “Нічлава”, 2006. – 479 с.
18. Рудько Г. І. Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України. Т. 1,2. [Текст] / Г. І. Рудько, Є. А. Іванов, І. П. Ковальчук. – К.-Черн.: Букрек, 2019. – 838 с.
19. Сивий М. Мінеральні ресурси Поділля: конструктивно-географічний аналіз і синтез [Текст] / М. Сивий. – Т.: Підручники і посібники, 2004. – 654 с.
20. Сивий М. Я. Конструктивно-географічні засади дослідження мінерально-сировинних ресурсів регіону [Текст] / М. Я. Сивий // Укр. географ. журн. – 2005. – № 1. – С. 38–46.
21. Сивий М. Географія мінеральних ресурсів України: монографія [Текст] / М. Сивий, І. Паранько, Є. Іванов. – Львів: Простір М, 2013. – 682 с.
22. Syvyj M., Havryshok B. (2018): Construction sands of Podillya: expansion distribution, resources, using. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27(3), 510–520. DOI: <https://doi.org/10.15421/111875>
23. Syvyi V. Ya., Hulyk S.V. (2019). About the functional typification of the Podilsk economic-geographical district mineral resources (Ternopil, Khmelnytskyi and Vinnytsia regions). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (4), 757–769. DOI: <https://doi.org/10.15421/111971>
24. Syvyj M. Ya., Lisova N.O., Havryshok B.B. (2019). The regionalization of territorial combinations of mineral deposits and mining territories of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 51, 171–186. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-12>
25. Syvyi M., Demyanchuk P., Havryshok B., Zablotsky B. (2019). Phosphates of Ukraine as raw materials for the production of mineral fertilizers and ameliorants. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 35(4), 5–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/gsm.2019.128543>
26. Сучасна динаміка рельєфу України (за ред. В.П. Палієнко) [Текст]. – К.: Наукова думка, 2005. – 268 с.
27. Larondelle, N., Haase, D. (2012). Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach – An example from Germany. *Ecological Indicators*, 18, 567–574.
28. *Mineral Commodity Summaries* (2019), <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70202434> (28.02.2019).
29. U.S. Geological Survey Mineral Resources Program—Mineral resource science supporting informed decisionmaking (2016), <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20163034> (1.09.2016)

**Authors Contribution:** All authors have made an equal contribution to this work.

UDC 911.9:553.04

***Myroslav Yakovych Syvyi,***

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
2 Maxyma Kryvonosa St., 46027, Ternopil, Ukraine,  
e-mail: [syvyjm@ukr.net](mailto:syvyjm@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-3150-4848>;

***Serhij Wolodymyrowych Hulyk,***

PhD (Geography), Lecturer, Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
e-mail: [ser\\_gul@ukr.net](mailto:ser_gul@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-8415-8304>;

***Petro Mychailovych Demyanchuk,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geography and its Teaching Methods,  
Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University,  
e-mail: [dempetrom@gmail.com](mailto:dempetrom@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4860-7808>

**THE REGIONALIZATION OF PODILLYA TERRITORY (TERNOPIL,  
KHYMLNYTSKYI AND VINNYTSIA REGIONS) BY MINERAL RESOURCES**

**The aim of the study.** Using the latest data of Geoinform of Ukraine, to carry out economic and geographical zoning of the territory of Podillya by mineral resources in order to identify spatial and temporal and dynamic patterns of concentration of mineral deposits, their place and role in the economic complex of the region, substantiation of proposals for optimization of its structure and optimization.

**Research results.** Within the Podilskyi macrodistrict, six mineral-raw areas were distinguished: Vinnytsia, Khmelnytskyi, Tovtry, Chortkiv, Western and Podnistrovskyi. All districts (except Chortkiv and Podnistrovskyi) are of a complex type, that is, mineral resources are concentrated within their limits in the form of macrobunches, deposits, separate deposits. In particular, it is established that the main components of the component structure of mineral resources of Podillya are different types of construction materials. Agrochemical and technological raw materials are of subordinate importance. The isolated mineral resources are characterized by a well-defined set of major and specific (area-specific) mineral resources and a distinct genetic link between the latter and the individual stratigraphic and structural-geomorphological taxones of the territory. Most territorial structures of the region's mineral resources are complex and only a few are classified as grouped. Within the region, multicomponent concentrations of mineral deposits and deposits dominate, in which raw materials for the construction industry most often play a dominant role. On the basis of the explored deposits of solid mineral resources of the region, several mineral-oriented mining hubs were formed and are functioning: Shepetivka-Polonne, Glukhiv-Turbiv, Slavuta and Kamianets-Podilskyi - Chemerivtsi. The fields of medicinal and medical-table waters of Podillya are basic for the formation in the region of territorial and recreational complexes: Konopkiv, Sataniv-Makiv and Khmilnyk.

**Scientific novelty.** Own interpretation of such territorial structural unit of mineral resources as an area is given, regionalization of Podillya territory by combinations of mineral resources is carried out for the first time, the set of basic and specific (peculiar to this area only) types of mineral raw materials and a distinct genetic link of the latter with separate stratigraphs are established - geomorphological taxons of the territory, which are separately formed on the basis of combinations of mineral resources, mining sites and their specificity was outlined.

**Practical importance.** Economic and geographical zoning of the Podillya area by mineral resources is conducted which will help to form a reliable, holistic view of the actual resource potential of the region and to plan and conduct on this basis by local administrative bodies aimed at optimizing the structure of the present mineral resources and raw materials.

**Keywords:** mineral resources, economic and geographical regionalization, raw mineral resources, construction materials, mining units.

**References**

1. Adamenko, O. M., Rudko, H. I. (1998): *Ecological geology. Manuskrypt*, Kyiv, 349.
2. Burka, V. Y. (2015): *Geographical features of the mineral resource base of the construction-industrial complex of the North-West economic region. Scientific Herald of Chernivtsy University, Geography*, 762, 763, 117–126.
3. Wyzhva S.A., Kurylo M.M., Baleha A.R. (2018): *Regional aspects of development and renewal of the country's mineral-raw material base and the ways of their financial provision. Mineral resources of Ukraine*, 4, 12–17.
4. Horlenko, I. O. (1969): *Mineral resources and the formation of the industrial complex of an economic region: Location of the productive forces of the Ukrainian SSR. Naukova dumka, Kyiv*, 36–44.



5. Horlenko, I. O. (1990): *Economic-geographical analysis of mineral resources: Constructive-geographical foundations of environmental management in the Ukrainian SSR*. Naukova dumka, Kyiv, 89–92.
6. Ivanov, Ye. (2009): *Geocadastr researches of mining territories*. Publishing Center of Lviv University, Lviv, 371.
7. Kilinska, K. I., Kostashchuk, V. I. (2010): *Modern trends in the use of mineral resources of the Chernivtsi region. The history of Ukrainian geography is an all-Ukrainian scientific theoretical journal*, 22, 128–134.
8. Korpan, N.W. et. all. (2018): *Mineral resources of Ukraine. Yearbook. Geoinform of Ukraine*, Kyiv, 268.
9. Mishchenko, V. S. (2007): *Economic priorities for the development of the mineral resource base of Ukraine*. Naukova dumka, Kyiv, 360.
10. Mishchenko, V. S. (2011): *Program planning of the development of the mineral and raw material base of Ukraine: methodology and practice*. NAN Ukraine, Kyiv, 156.
11. Palamarchuk, M. M., Horlenko, Y. A., Yasniuk, T. E. (1978): *Mineral resources and the formation of industrial territorial complexes*. Naukova dumka, Kyiv, 220.
12. Palamarchuk, M. M., Palamarchuk, O. M. (1998): *Economic and social geography of Ukraine with the basics of the theory*. Znannia, Kyiv, 416.
13. Rudenko, L. H., Paliienko, V. P., Shevchenko, L. M. (2003): *Constructive-geographical areas of regional environmental management in connection with the development of the mineral resource base of Ukraine (conceptual aspect)*. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 11–18.
14. Rudenko, L. H. et. all. (2004): *Approaches, principles and methods of constructive-geographical studies of regional nature management in connection with the development of the mineral and raw materials base of Ukraine*. *Ukrainian Geographical Journal*, 3, 13–19.
15. Rudko, H. I., Shkitsa, L. Ye. (2001): *Ecological safety and rational nature management within the mining-industrial and oil and gas complexes*. *ZAT Nichlava, Ivano-Frankivsk*, 525.
16. Rudko, H. I., Bondar O. I. (2005): *Ecological risks in the process of mineral resources deposits development. The ecology of the environment and the safety of the living*. *Ivano-Frankivsk*, 5, 75–83.
17. Rudko, H. I. (2006): *Resources of geological environment and the ecological safety of the technonatural systems*. *ZAT Nichlava, Kyiv*, 479.
18. Rudko, H.I., Ivanov, Ye.A., Kovalchuk, I.P. (2019): *Mining geosystems of the Western region of Ukraine*. T. 1.2. Bukrek, Kyiv – Chernivtsi, 838.
19. Syvyj, M. Ya. (2004): *Mineral resources of Podillya: constructive-geographical analysis and synthesis*. *Pidruchnyky i posibnyky, Ternopil*, 654.
20. Syvyj, M. Ya. (2005): *Constructive-geographical basis for the study of the region's mineral resources*. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 38–46.
21. Syvyj, M. Ya., Paranko, I. S., Ivanov, Ye. V. (2013): *Geography of mineral resources of Ukraine: monograph*. Prostir, Lviv, 683.
22. Syvyj M., Havryshok B. (2018): *Construction sands of Podillya: expansion distribution, resources, using*. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27(3), 510–520. DOI: <https://doi.org/10.15421/111875>
23. Syvyi M. Ya., Hulyk S.V. (2019). *About the functional typification of the Podilsk economic-geographical district mineral resources (Ternopil, Khmelnytskyi and Vinnytsia regions)*. *Journal of Geology, Geography and Geoecology»,* 28 (4), 757-769. DOI: <https://doi.org/10.15421/111971>
24. Syvyj M. Ya., Lisova N.O., Havryshok B.B. (2019). *The regionalization of territorial combinations of mineral deposits and mining territories of Ukraine*. *UKRAINE. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 51, 171–186. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-12>.
25. Syvyi M., Demyanchuk P., Havryshok B., Zablotsky B. (2019). *Phosphates of Ukraine as raw materials for the production of mineral fertilizers and ameliorants*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 35(4), 5–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/gsm.2019.128543>
26. *Modern dynamics of the relief of Ukraine (edited by V.P. Paliienko)* (2005). *Naukova Dumka*, Kyiv, 268.
27. Larondelle, N., Haase, D. (2012): *Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach – An example from Germany*. *Ecological Indicators*, 18, 567–571.
28. *Mineral Commodity Summaries* (2019). <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70202434> (28.02.2019).
29. U.S. Geological Survey *Mineral Resources Program—Mineral resource science supporting informed decisionmaking* (2016), <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20163034> (1.09.2016).

UDC 911.375:711.4

**Olga Sergiivna Suptelo,**

PhD student, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [suptelo@gmail.com](mailto:suptelo@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2901-8565>;

**Kateryna Yuriivna Sehida,**

Doctor of Science (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University,  
e-mail: [kateryna.sehida@karazin.ua](mailto:kateryna.sehida@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>

## FACTORS OF POST-INDUSTRIAL TRANSFORMATIONS OF URBAN SOCIOGEOSYSTEMS (case Kharkiv)

*О. С. Суптелю, К. Ю. Сегіда. ФАКТОРЫ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ МІСЬКИХ СОЦІОГЕОСИСТЕМ (на прикладі міста Харкова). У статті розглядаються особливості постіндустріальних трансформацій міської соціогеосистеми, на прикладі міста Харкова. Збільшення рівня урбанізації, що проявляється в збільшенні чисельності міст, міського населення та впливу міст на загальний розвиток регіонів та країн, стимулює інтерес фахівців різних галузей до дослідження міст. При цьому, в контексті концепції постіндустріального розвитку, значний інтерес дослідники проявляють до факторів, що впливають на вектор та інтенсивність трансформацій міст в сучасних умовах. У даному дослідженні місто розглядається як складна міська соціогеосистема, на розвиток якої впливають велика кількість як зовнішніх, так і внутрішніх чинників. Обране як дослідницький кейс місто Харків має складну історію, в якій найдовший період пов'язаний з індустрією та промисловим розвитком, а з початку 1990-х років розпочало шлях трансформаційних перетворень до постіндустріального періоду. Мета дослідження полягає у визначенні факторів, що впливають на напрям та інтенсивність постіндустріальних трансформацій міста Харків за період 1991-2019 роки. Мультидисциплінарний дослідницький підхід до вивчення міст та особливостей їх розвитку, функціонування та трансформування, сприяє формуванню значного набору міждисциплінарних та конкретно наукових методів дослідження. Розглядаючи місто як складну соціогеосистему, що характеризується значним набором показників розвитку, найбільш ефективними методами для визначення факторів його трансформування є математико-статистичні методи, зокрема кластерний та факторний аналіз. Кластерний аналіз, як інструмент групування, дозволив упорядкувати показники соціально-економічного та просторового розвитку міста за досліджуваній період, встановити три основних етапи постіндустріального переходу. На основі факторного аналізу було встановлено сукупність чинників та визначено їх силу впливу за вказаний період. Аналіз показників розвитку міста в динаміці дозволяє стверджувати, що саме визначені фактори є такими, що впливають не лише на розвиток міської соціогеосистеми, а й на особливості її трансформації.*

**Ключові слова:** трансформації міста, фактори розвитку, факторний аналіз, постіндустріальний розвиток, кластерний аналіз, міська соціогеосистема, Харків.

*О. С. Суптелю, К. Ю. Сегіда. ФАКТОРЫ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИЙ ГОРОДСКИХ СОЦИОГЕОСИСТЕМ (на примере города Харькова). В статье рассматриваются особенности постиндустриальных трансформаций городской социогеосистемы, на примере города Харькова. Увеличение уровня урбанизации, проявляется в увеличении численности городов, городского населения и влияния городов на общее развитие регионов и стран, стимулирует интерес специалистов различных отраслей к исследованию городов. При этом, в контексте концепции постиндустриального развития, значительный интерес исследователи проявляют к факторам, которые влияют на вектор и интенсивность трансформаций городов в современных условиях. В данном исследовании город рассматривается как сложная городская социогеосистема, на развитие которой влияют большое количество как внешних, так и внутренних факторов. Выбранный как исследовательский кейс город Харьков имеет сложную историю, в которой самый длительный период связан с индустрией и промышленным развитием, а с начала 1990-х годов начал путь трансформационных преобразований к постиндустриальному периоду. Цель исследования заключается в определении факторов, влияющих на направление и интенсивность постиндустриальных трансформаций города Харьков период 1991-2019 годы. Мультидисциплинарный исследовательский подход к изучению городов и особенностей их развития, функционирования и трансформации, способствует формированию значительного набора междисциплинарных и конкретно научных методов исследования. Рассматривая город как сложную социогеосистему, характеризующуюся значительным набором показателей развития, наиболее эффективными методами для определения факторов его трансформации являются математико-статистические методы, в частности кластерный и факторный анализ. Кластерный анализ, как инструмент группировки, позволил упорядочить показатели социально-экономического и пространственного развития города за исследуемый период, установит три основных этапа постиндустриального перехода. На основе факторного анализа было установлено совокупность факторов и определены их силу воздействия за указанный период. Анализ развития города в динамике позволяет утверждать, что именно определенные факторы являются влияющими не только на развитие городской социогеосистемы, но и особенности ее трансформации.*

**Ключевые слова:** трансформации города, факторы развития, факторный анализ, постиндустриальный развитие, кластерный анализ, городская социогеосистема, Харьков.

**Formulation of the problem.** The rapid growth of urban population in the world, the growing role and influence of cities, informatization and the formation of new forms of economic development in combination with globalization and anthro-

pocentrism stimulate scientific interest in the study of cities, their populations and development. At the same time, complex interdisciplinary and systemic approaches are of great importance. The city, as a complex socio-geosystem [15, 16], which is influ-

enced by a number of external and internal factors, is a dynamic formation, which is characterized by the concepts of development and transformation. In the context of the concept of socio-geosystems, cities have the following fundamental properties: openness, dynamism, integrity, hierarchy, emergence, homeostasis, self-development and instability.

Modern society of highly developed countries, according to some scientists, is at the stage of post-industrial development, the rest are striving to reach this level and are in the process of transformation. For Ukraine, as a part of the European region, the processes of post-industrial transformations are also characteristic. First of all, they are manifested in large cities, including Kharkiv.

Over the more than 360-year history of formation and development, Kharkiv, under the influence of a significant number of factors, has repeatedly changed the vector of its development. The existing potential of the city and the current state of development suggest that Kharkiv has entered a phase of active post-industrial transformation, the manifestations of which are present in all spheres of life and functioning of the city, from economy and production to urban space and everyday practices.

Analyzing the experience of cities in the world, it should be noted that there is no single scenario for the development or transformation of urban socio-geosystems [19, 13]. As M. Weber noted [4], it is not possible to define the concept of a city, because each city is unique. Consequently, the conditions of development, the peculiarities of transformations, and most importantly the factors that influence these processes are completely unique for each city. Therefore, when planning and formulating a strategy for the development of the city, it is necessary to study the factors influencing these processes. In the period of post-industrial transformation, this is extremely important, given the dynamism and instability of post-industrial development in today's globalized world.

#### **Analysis of recent research and publications.**

The city and its development are the subject of research in many sciences, including economic and social geography, sociology, economics, urban planning, philosophy, futurism, ecology, political science and others. The formation of cities as centers of civilizational [8] growth and development of the territory in the period of total globalization has influenced the output of this object of study and the boundaries of the interests of one particular science or field of knowledge. At the same time, the most effective can be considered an interdisciplinary approach to the study of such a complex and dynamic socio-geosystem as the city.

Peculiarities of post-industrial transformations

of cities and the factors influencing them are a rather new field of research for domestic specialists. Instead, this topic has been widely studied by Western scholars since the early twentieth century, which is undoubtedly explained by the level of economic and scientific development of the respective countries.

Analyzing the results of previous research on the topic, it should be noted their main vectors: 1) theorizing of post-industrial urban development; 2) study of economic features and factors of development; 3) the study of spatial and social transformation.

The founder of the concept of post-industrial society D. Bell [2], notes that the manifestations of the post-industrial stage of development are mainly reflected in the economy and production, society and space, science and culture.

Andy Pike [1], in a comprehensive study of Glasgow's transformations, emphasizes that post-industrial development is a complex process and often leads to polarization and uneven development of the city, which in turn can affect the development of the region of influence of the city. The author notes that for Western highly developed countries, the period of post-industrial transformations begins after World War II and is gaining momentum in the early 1970s. The author assigns a significant role in the further development of Glasgow to the tertiary sectors, and notes that it is the processes of tertialization that can contribute to the establishment of sustainable development of the city.

On the example of the study of transformations of the city of Montreal, Sarah Moser, Gabriel Fauveaud, Adam Cutts [5], describe the impact of urban policy as one of the factors of city development. In times of economic and social upheaval, the main regulatory role is given to municipal authorities. The transition to the post-industrial stage of development of the city of Montreal was accompanied by the support of the city authorities of creative and science-intensive sectors of the economy, which overcame the decline of the manufacturing sector. Despite the success of the measures described by the authors, the transformation of the city, due to a number of factors, was uneven.

Lars Nilsson [7] explores the tendencies of post-industrial transformation of urban space as an important component of the city's functioning on the example of Western European cities in his work "Urban space in the post-industrial era". The author considers the processes of deindustrialization and development of creative branches of the city economy to be the main factors influencing the changes in urban space.

Post-industrial development and transformation of cities and urban spaces are quite new for domestic scientists. Undoubtedly, this is due to the fact that

the manifestations of post-industrial transformations in the Ukrainian socio-economic space, in particular at the city level, have appeared relatively recently. However, the study of foreign experience in the study of these processes, contributes to the formation of a comprehensive interdisciplinary study of cities and their development processes.

M. Bykova's research is devoted to the study of economic aspects of post-industrial transformations of Kyiv [10]. The author identifies the main aspects and their characteristics of economic transformations of the city in space-time aspects, including their qualitative and quantitative indicators (spatial organization of the economy, the level of post-industrial transformations, the sphere of dominance of post-industrial transformations). An important aspect of this study can be called a sufficient statistical base, unfortunately, its absence at the level of other cities in the country makes it impossible to conduct an equally effective study of economic transformation.

Another area of the urban socio-geosystem in his study describes O.V. Senyur [17]. The author refers to the transformation of the social space of the city to the main transformations of the post-industrial transition period. According to the concept and scientific views of A. Lefebvre [3] and other classics of sociological research of urban transformations, the author identifies two main areas of post-industrial changes in the social space of the city: first - the transformation of the essence and forms of social relations in urban areas; secondly - the transformation of the urban environment.

Investigating the spatial transformations of urban areas of Ukraine of peripheral-industrial type, O. Hnatyuk [11] identifies the main factors of transformation transition from planned to market economy, increasing importance of services compared to industrial production, low efficiency and innovation of the existing technological structure and conservatism. local population (including local elites), who are not ready to abandon the vision of their city, primarily as an industrial center.

The study of A. Sochuvka and A. Mazurova [18] is devoted to the issue of socio-geographical features of the transformation of industrial regions. Using the examples of the Katowice Conurbation, the authors describe the main characteristics and problems of the development of typical industrial areas in the period of industrial decline. Comparing the features of development of different industrial cities (Katowice and Kharkiv), A. Mazurova [13] identifies a number of factors influencing the functioning of these urban socio-geosystems, including demographic-educational, infrastructural, innovative, economic-industrial.

Positioning the city as an urban geosystem, O.

Chuyev [22], on the example of Kharkiv, reveals the features of the infrastructural component of its functioning with the help of spatial GIS analysis. According to the author, the establishment of a network of existing infrastructure facilities and a survey of public opinion on the features and efficiency of their operation is the basis for urban planning in the context of infrastructure development.

According to the analysis of the main publications on the topic of the study, we see that the statement of M. Weber [4] about the uniqueness of each individual city is confirmed. However, global trends in world development contribute to the spread of certain characteristics and vectors of development to different territorial patterns, which in turn increases the relevance of research on the factors influencing the post-industrial transformations of cities.

**Selection of previously unsolved parts of the overall problem.** The study of factors of post-industrial development is an important and relevant step in developing a strategy and planning for urban development, given the uniqueness of each individual city, and taking into account the main theses of a comparative approach to urban research in the interpretation of J. Robinson [9] and others. Kharkiv is a typical post-socialist city in the Eastern European region, which seeks post-industrial transformations. The study of factors of development of this kind of city, gives the chance of implementation of the received results for implementation at planning of development of other cities.

**The purpose** of this study is to determine the main factors of post-industrial transformation of urban socio-geosystems on the example of Kharkiv. To achieve this purpose, the following research questions were asked:

- What periods of post-industrial transformation did the city of Kharkiv undergo?
- What factors and with what force influenced the transformation of the city?

**Research methods.** Researching cities as complex sociogeosystems should not limit the set of research methods. The complexity of the object of study contributes to the application of a comprehensive cross-sectoral approach. In this paper, the main research methods are cluster and factor analysis. Based on the data of the Main Department of Statistics in Kharkiv region [12], a database of 41 indicators was compiled, describing the basis of the characteristics of the functioning of the city for the period from 1991 to 2019.

Cluster analysis, as a method that allows to group the objects of research into homogeneous groups - clusters, in this study was used to organize a dynamic series of indicators of Kharkiv over the years and highlight the main stages of development and transformation of the city. In turn, the use of

factor analysis, the purpose of which is to identify hidden variables responsible for the presence of linear statistical correlations between the observed variables for a dynamic series of data for such a significant period, allows to identify factors influencing the transformation of the object. At the same time, methods of systematization, generalization, induction and deduction, morphological analysis were applied in symbiosis with retrospective and systemic approaches, which allowed to establish some preconditions for transformation of urban sociogeosystem and their manifestations, and to systematize and interpret cluster and factor analysis.

#### **Presentation of the main research material.**

The transition to the post-industrial stage of development for most cities, countries and territories is an evolutionary solution to the problems that have accumulated during industrial growth. Accordingly, there are two possible ways to move to the post-industrial stage of development:

- I. *Extensive*: the decline of industry due to non-compliance with market conditions, or due to sharp economic or political shocks.
- II. *Intensive*: rapid development of technologies, science and technology, leading to a decrease in employment in industry, reducing the share of GDP of industries and industries of the primary sector, increasing the efficiency of tertiary sectors.

Kharkiv, like most cities in Ukraine and the Eastern Europe subregion, is characterized by the first scenario of transition to post-industrial development. The rupture of industrial ties after Ukraine's withdrawal from the USSR, outdated equipment and production technologies, and the low competitiveness of most types of industrial products led to the bankruptcy of a significant number of industrial enterprises in the city. However, the post-industrial stage of the city's development is the logical conclusion of the industrial stage and all these unfavorable preconditions for industrial development have become the engine for post-industrial transformations of the city, finding ways of rapid transformation. The classic transition to post-industrial development is accompanied by a combination of two processes: the tertization of the urban environment (the predominance of the service sector in the structure of the economy) and the modernization of industry. This has the following manifestations in Kharkiv [6]:

- among the industrial enterprises of the city, the enterprises of machine-building branch which have no analogues in the country possess considerable capacities, these are former giants of an industrial stage of development (HTZ, Turboatom, Hartron);

- industrial enterprises of food and light industry are gaining significant development, providing high-quality products not only in Kharkiv, but also in the whole region, forming powerful economic opportunities;
- the sphere of services in the city is developing mainly due to trade, transport, tourism (one of the largest shopping malls in the country "Barabashovo"; opening of 9 new metro stations during the period of independence, etc.);
- one of the largest IT clusters in the country was formed in the city;
- the city is the leading scientific and educational center of the country.

In the context of the concept of sustainable development, the transition to the post-industrial stage is logical and most effective. At the same time, given the experience of a number of cities around the world (Detroit, Manchester, Katowice and others), the rapid transition from industrial to post-industrial development is not always the most optimal. In general, regardless of the pace, such a transition may be accompanied by crises in industry and other industries and spheres of activity, which generally slows down the pace of city development. The lack of significant resources, a clear strategy for the development of the city and a number of alternative industries in the period of post-industrial transformations become a threat to the development of the city and can contribute to the rapid transformation of the city into a solid brownfield.

During the period of Ukraine's independence in Kharkiv, as in most powerful industrial cities of the country, transformations of all spheres of their functioning took place. Grouping the years of the study period according to the main indicators of urban development (cluster analysis), you can clearly see the phases of transformation processes in the city (Fig. 1).

Figure 1 shows that during the period from 1991 to 2019, Kharkiv went through three main phases of its development in the context of post-industrial transformations:

1. **1991-1997** – a period of development at the expense of residual resources. During this period, most industrial enterprises of the city continue to operate, but entering a state of crisis;
2. **1998-2010** – a period of crisis that was characteristic of the whole country. During this period, a significant proportion of the city's industrial enterprises go bankrupt and cease to operate. This period can be called the beginning of post-industrial transformations, the most striking manifestation of which is the process of *deindustrialization*.

3. **2011-2019** – a period of gradual recovery from the economic crisis. Currently, the economic situation in the city is stabilizing, some industries are being modernized (HTZ, Turboatom, Malyshev Plant). Among the post-industrial processes, the most manifestations are: gentrification, revitalization, neo-industrialization, tertialization.

Compared to cities in higher development countries, such as Detroit or Manchester, for Kharkiv, as for most post-socialist cities, the period of transformation will be protracted and somewhat wavy. This is due to a significant number of influencing factors, and in turn makes it difficult to predict the further development of the city.

The factor analysis of Kharkiv development for

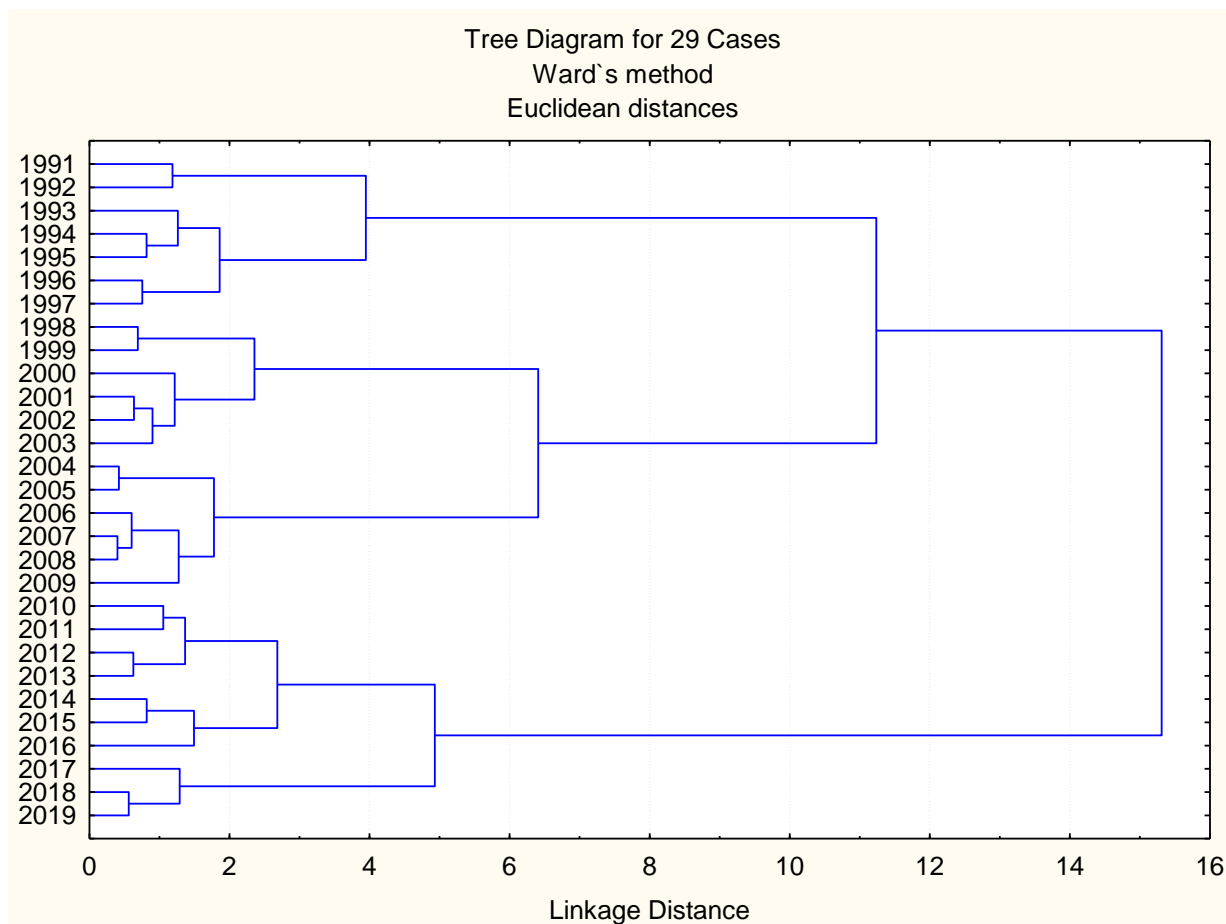


Fig. 1. Grouping of years of development of Kharkiv according to the main indicators of functioning of the city sociogeosystem (built by the authors according to [12])

the period from 1991 to 2019 revealed three complex factors of influence among the 41 development indicators studied. As the city is a complex multi-vector object of study, the determination of impact factors was carried out according to three criteria: Kaiser's criterion, cumulative percentage criterion, Kettle's "stone talus" criterion (Table 1).

According to Kaiser's criterion, we choose as probable factors of influence, only power values greater than 1,000. After all, if the factor does not allocate a variance equivalent to at least the value of one indicator, this factor has no effect. According to this criterion, we have five factors of influence, which respectively have their own values: 19,19815; 7.53513; 5.88793; 2.80172; 1,52066 (table 1).

Another way to determine the number of factors is the criterion of cumulative percentage, as de-

termining factors are chosen those that together cover about three quarters of the original information (75% – cumulative percentage). A value of more than 75% is achieved between the first and second positions (46.8247% and 65.2031%, respectively). According to the criterion of cumulative percentage, there are one or two optimal factors of influence.

The last way to determine the number of factors – Ketell's test – the criterion of "stone rash" (Fig. 2).

This graph shows that there are three optimal factors for the development of Kharkiv for the period from 1991 to 2019, and the rest is a "factorial rash" – insignificant or short-term factors. Factors №4 and №5 are not defined, so you should refer to the results of the study according to the previous criteria. At this stage of the study, we identify five

optimal factors for the development of Kharkiv.

Calculate the factor loads for each of the five factors and determine their structure (Table 2).

As can be seen from Table 2, there are only *three influencing factors*. In the previously selected factor №5, none of the numerical values of the variables exceeds 0.700, and therefore is not a component of the impact factor. And the factor «№4 contains only one change, the force of influence of which is only 0,052974, which is not significant.

Based on the data in Table 2, we have the following composition of factors influencing the development of Kharkiv for the period from 1991 to 2019:

- **Factor №1** (strength of influence – 33.3%) – variables № 1, 11, 13, 14, 16, 17, 21, 25, 29, 35, 40, 41 – population; population aged 15 to 60 (men); population aged 0 to 15 (women); population aged 15 to 60 (women); number of first registered cases of diseases, thousand;

Table 1

Dispersion of influencing factors for the study period 1991-2019  
(compiled by the authors according to [12])

Value	Eigenvalues	% Total variance	Cumulative Eigenvalues	Cumulative %
1	19,19815	46,82475	19,19815	46,8247
2	7,53513	18,37835	26,73327	65,2031
3	5,88793	14,36080	32,62120	79,5639
4	2,80172	6,83347	35,42293	86,3974
5	1,52066	3,70892	36,94358	90,1063
6	0,78095	1,90477	37,72454	92,0111
7	0,76862	1,87469	38,49316	93,8858
8	0,63975	1,56037	39,13291	95,4461
9	0,41423	1,01033	39,54715	96,4565
10	0,35280	0,86049	39,89995	97,3169
11	0,29827	0,72749	40,19822	98,0444
12	0,20527	0,50065	40,40349	98,5451
13	0,15180	0,37025	40,55529	98,9153
14	0,10859	0,26485	40,66388	99,1802
15	0,08342	0,20347	40,74730	99,3837
16	0,08036	0,19599	40,82766	99,5797
17	0,06034	0,14716	40,88800	99,7268
18	0,03118	0,07604	40,91917	99,8029
19	0,02165	0,05280	40,94082	99,8557
20	0,01850	0,04513	40,95932	99,9008
21	0,01376	0,03356	40,97308	99,9343
22	0,00818	0,01996	40,98126	99,9543
23	0,00508	0,01239	40,98635	99,9667
24	0,00477	0,01164	40,99112	99,9783
25	0,00455	0,01111	40,99567	99,9894
26	0,00214	0,00522	40,99781	99,9947
27	0,00139	0,00339	40,99921	99,9981
28	0,00079	0,00194	41,00000	100,0000

number of school institutions; number of hospitals; number of junior medical staff, thousand people; total area of housing stock, million m<sup>2</sup>; number of tourists; serviced by tour operators and travel agents; number of scientists; persons, the volume of performed scientific and scientific-technical works in actual prices, thousand UAH – *the structure of labor resources, their social protection and the most important sectors of the tertiary, quaternary and fifth sectors of the economy.*

- **Factor №2** (strength of influence – 17.1%) – variables №2, 4-7 – number of births, persons; natural increase (reduction); birth rate,

mortality rate; natural growth rate – *demographic development of the city.*

- **Factor №3** (strength of influence – 24.4%) – variables № 10, 15, 18, 20, 22, 30, 32-34 – population aged 0 to 15 (men); population over 60 (women); number of secondary education institutions; the number of universities of III-IV level; average salary; volumes of sold industrial products; retail turnover, thousand UAH; retail turnover of retail trade enterprises, thousand UAH; capital investments, thousand UAH – *age structure of the population and main indicators of economic development.*

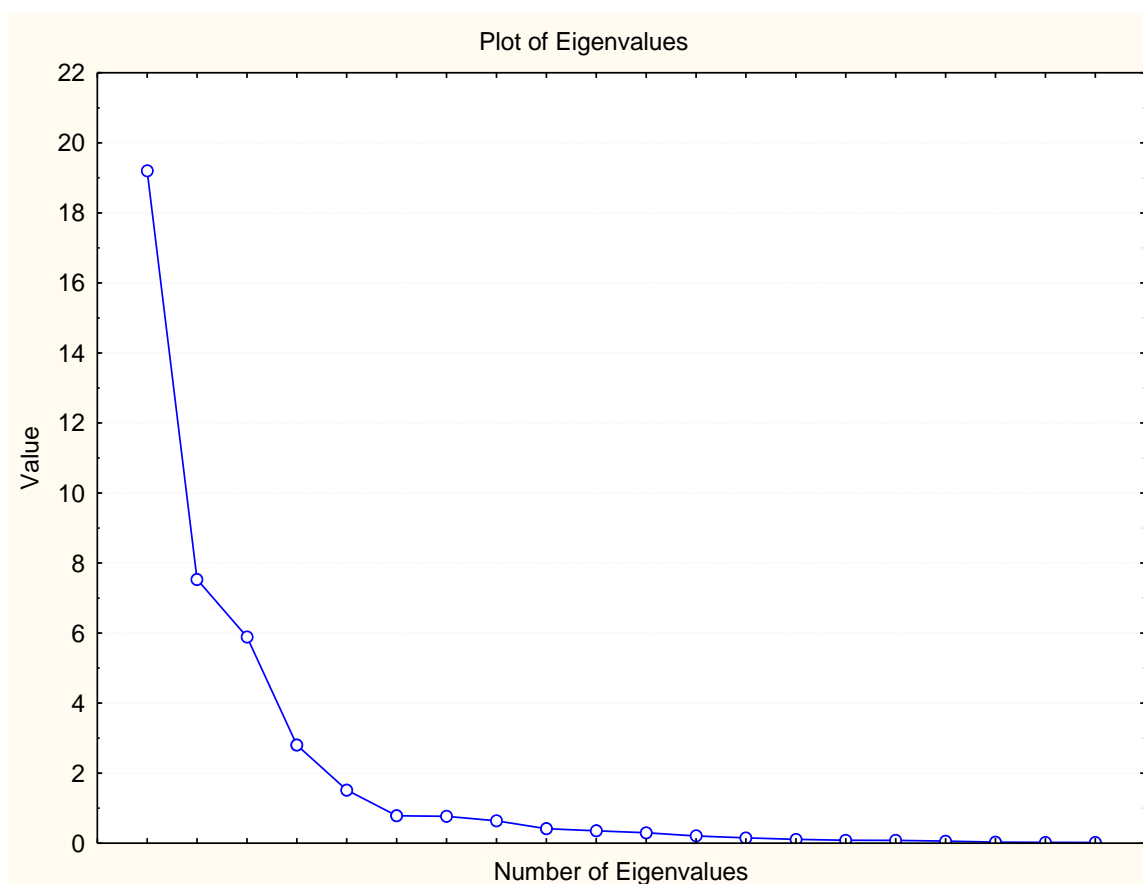


Fig. 2. Graph of variance ("stone or factorial talus") (created by the authors according to [12])

Of course, each of these factors changed the strength of its influence during the study period. To study this process, factor weights were calculated for each of the identified factors of influence during the study period (Table 3). Factor weights are indicators that assess the contributions of the studied years to each of the factors. The matrix of factor weights is calculated by multiplying the matrix of the original data by the matrix of factor loads. They are interpreted as relative estimates of the manifestation of a certain factor in each of the studied years and serve as a basis for their grouping.

If the value of the factor weights is about 0, then the influence of this factor corresponds to the

influence as a whole for the whole period, if more (and especially more than 1) – the influence of this factor is significantly greater, and if with a minus (more than 1) – significantly less. period as a whole (Table 3).

Thus, the *factor №1* – the structure of labor resources, their social protection and the most important sectors of the tertiary, quaternary and fifth sectors of the economy, the greatest impact and development of the city had in the period from 1991 to 1995, and the least in the period from 2007 to 2010 years. *Factor №2* – demographic development of the city had the maximum impact on the functioning of the city of the arch in 1991, 1992, 2012 and 2013,



Factor loads of the studied factors of Kharkiv development for the period 1991-2019  
(compiled by the authors according to [12])

Value	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
1	0,95009	0,055552	0,25038	0,051131	0,128252
2	0,13048	0,920341	0,04421	0,144338	0,053572
3	0,45185	-0,689888	-0,01212	0,102945	0,214693
4	-0,09213	0,985250	0,03847	0,065471	-0,050130
5	-0,12288	0,922086	-0,00804	0,142800	0,003553
6	-0,21707	-0,783209	-0,22151	0,064570	0,158282
7	-0,00707	0,985785	0,07970	0,080795	-0,058574
8	-0,58238	0,554968	-0,33780	-0,278640	0,278665
9	-0,58238	0,554968	-0,33780	-0,278640	0,278665
10	-0,55724	0,010426	-0,71771	-0,216319	-0,025047
11	0,98064	-0,100800	0,14120	-0,032243	0,028462
12	0,07919	0,522117	0,53343	0,452309	0,210842
13	0,96978	0,070394	0,13972	0,058994	0,097740
14	0,98138	-0,089393	0,14287	-0,036270	0,040671
15	0,23676	0,268372	0,82464	0,313603	0,224828
16	-0,89319	0,024200	-0,04162	0,278556	0,176121
17	0,95364	0,173224	0,09470	0,121929	0,017369
18	0,60336	0,087691	0,76574	-0,055835	0,091104
19	0,69577	-0,221752	0,56016	-0,179003	0,174573
20	-0,22398	0,142071	0,89952	-0,008594	0,235920
21	0,80133	-0,342239	0,35671	-0,119717	0,041648
22	-0,37069	0,051926	-0,89019	0,085847	-0,108745
23	0,06812	-0,108358	-0,54968	0,273318	-0,662375
24	-0,12927	0,198831	0,01861	0,876865	-0,137099
25	0,78825	-0,128475	0,56462	-0,035553	0,145937
26	-0,28329	-0,459586	0,15227	-0,418069	0,031339
27	0,42541	-0,286782	0,02417	-0,389046	0,106601
28	0,08780	0,113408	0,56546	0,383440	0,658651
29	-0,84135	0,006418	-0,44777	0,038139	-0,255245
30	-0,27209	-0,057205	-0,91228	-0,095362	-0,149072
31	-0,42704	-0,058100	-0,01581	-0,096204	0,215278
32	-0,17912	0,343919	-0,80392	0,054891	-0,109425
33	-0,63726	-0,172549	-0,68768	0,059684	-0,192493
34	-0,53805	-0,098736	-0,78280	0,143001	0,071695
35	-0,87293	0,073165	0,21445	-0,024208	0,292414
36	-0,28344	0,408550	-0,54079	0,095882	-0,576581
37	-0,05894	0,327028	-0,40526	0,236148	-0,657582
38	0,60407	0,463575	0,56654	-0,027259	0,216007
39	0,30380	-0,106148	0,53234	-0,043375	0,639939
40	0,79249	-0,079650	0,57285	0,068100	0,107369
41	0,79249	-0,079650	0,57285	0,068100	0,107369
Explanatory variable	13,65879	7,000164	10,02231	2,171954	2,941180
Prp. Totl (The strength of the influence of the factor)	0,33314	0,170736	0,24445	0,052974	0,071736

Factor weights of certain factors influencing the development of the city of Kharkiv for the period from 1991 to 2019 (compiled by the authors according to [12])

Years	Factor 1	Factor 2	Factor 3
1991	2,15861	2,41962	0,04477
1992	2,16358	1,77068	-0,32109
1993	1,75180	0,27175	0,15289
1994	1,54375	-0,75767	0,43184
1995	1,41674	-1,33972	0,47547
1996	0,99082	-1,03224	0,63962
1997	0,75338	-0,88660	0,58537
1998	0,63038	-0,55014	0,68114
1999	0,38110	-1,08435	0,51850
2000	-0,02105	-1,37216	0,59324
2001	-0,17525	-1,04788	0,40685
2002	-0,40801	-0,77703	0,50606
2003	-0,57003	-0,49978	0,31748
2004	-0,79676	-0,32724	0,46756
2005	-0,84369	-0,30063	0,59408
2006	-0,87189	0,03062	0,64188
2007	-1,02139	0,06777	0,76918
2008	-1,02466	0,52662	0,64150
2009	-1,03823	0,85654	0,89652
2010	-1,00181	0,75479	0,86734
2011	-0,62875	0,94606	0,08115
2012	-0,80947	1,53841	-0,13612
2013	-0,66056	1,37954	0,04467
2014	-0,65200	0,97158	-0,22587
2015	-0,43940	0,15374	-0,63355
2016	-0,07900	-0,23813	-1,58241
2017	-0,23700	0,19136	-2,35969
2018	-0,20085	-0,88991	-2,61557
2019	-0,31038	-0,77561	-2,48282

and the least – in 1995, 1996, 1999-2001. Regarding the *factor №3* – the age structure of the population and the main indicators of economic development, it acted with almost the same force throughout the study period, and only from 2016 to 2019 its strength was slightly less than the previous two factors.

Thus, the most influential are the three main factors of development: the city population, social sphere and economic activity. In the period of post-industrial transformations, the combination and interconnection of the triad of these factors is constantly changing, changing the internal structure of the urban socio-geosystem and its appearance. At the same time, the composition and structure of the city's population, the structure of the economy and methods of production are transformed, the sphere of social security of the population and the non-productive sphere comes to the fore, the interaction of the population with the city is transformed.

**Conclusions.** The complexity of the urban socio-geosystem and its dynamics affect the formation of complex factors of post-industrial transformation.

Kharkiv, as the second most developed city in terms of development and population, is characterized by a long and difficult post-industrial transition. During the period of independence, the city's economy managed to transform from industrial to post-industrial. Forced, due to a number of economic, political and social factors, post-industrial transition can be considered successful for Kharkiv. This is evidenced by the recognition of the city's development by international experts [14, 20, 21].

Analyzing the main indicators of socio-economic development of the city, we can distinguish three different periods of city development. The dynamics of the studied indicators indicates the formation and passage of transformation processes in the city. The results of factor analysis suggest that the greatest impact on the development of the city have economic, social and demographic aspects. But, based on a systematic approach to the study of the functioning of the urban socio-geosystem, these factors should be considered as a cumulative interaction. Thus, three main factors that significantly

influenced the transformation of Kharkiv in the period from 1991 to 2019 from industrial to post-industrial stages of development were identified: the structure of labor resources, their social protection and the most important sectors of the tertiary, quaternary and fifth sectors of the economy; demographic development of the city; age structure of the population and the main indicators of economic development. Undoubtedly, in different years these factors had different levels of influence. Determining the factor weights for the established factors for the study period and comparing them with the re-

sults of cluster analysis suggests that Kharkiv is undergoing a number of transformations for the period 1991-2019. At each stage there is a set of factors that act with a certain force.

Determining the periods of Kharkiv development and the main factors of influence is an important step for creating and substantiating a comprehensive description of the city in the period of post-industrial transformations, identifying problems and prospects for further development of the city.

### Bibliography

1. *Andy Pike Case Study Report Glasgow* [Електронний ресурс] / Pike Andy / Режим доступу: <https://www.cityevolutions.org/wp-content/uploads/171211-Working-paper-8-Glasgow-case-study-report.pdf>
2. Bell D. *Notes on the Post-Industrial Society* / D. Bell / *The Public Interest*. – 1968. – №7. – P. 102-118.
3. Lefebvre H. *Writings on cities*. Blackwell / H. Lefebvre / Cambridge, MA. – 1996. – P. 250.
4. Max Weber *The City* / Weber Max // Moscow: Strelka Press. – 2017. – P. 250.
5. Moser S. *Montréal: Towards a post-industrial reinvention* / S. Moser, G. Fauveaud, A. Cutts // *Cities*. – 2019. – №86. – P. 125-135.
6. Niemets, L. *Post-Industrial Development of The City of Kharkiv (Ukraine): Backgrounds and Realities* / L. Niemets, O. Suptelo, M. Lohvynova, K. Sehida, L. Kliuchko // *Proceedings of the 34th International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019 - Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations Through Sustainable Economic Competitive Advantage*. – 2019. – P. 328-337.
7. Nilsson L. *Urban Space in the Post-industrial Era* [Електронний ресурс] / Nilsson L. / Режим доступу: [https://www.historiaurbium.org/wp-content/uploads/2017/11/Lars-Nilsson\\_Urban-Space-in-the-Post-industrial-Era.pdf](https://www.historiaurbium.org/wp-content/uploads/2017/11/Lars-Nilsson_Urban-Space-in-the-Post-industrial-Era.pdf)
8. Reed H. *Financial centre hegemony, interest rates and the global political economy* / H. Reed // *International Banking and Financial Centres*. London. – 1989. – P. 247-268.
9. Robinson J. *Comparative Urbanism: New Geographies and Cultures of Theorizing the Urban* / J. Robinson // *International journal of urban and regional research*. – 2015. – P. 187-199. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12273>
10. Бикова М. Д. *Постіндустріальна трансформація просторової організації господарства Києва (дисертація)* / М. Д. Бикова / Київ. – 2019. – с. 192
11. Гнатюк О. М. *Просторові трансформації урбанізованих територій України периферійно-індустріального типу (на прикладі міст Запоріжжя і Жовті Води)* / Гнатюк О. М. // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. – 2017. – Випуск 46. – С. 68-74. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-09>
12. *Головне управління статистики в Харківській області* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kh.ukrstat.gov.ua/>
13. Мазурова А.В. *Суспільно-географічні особливості функціонування міської соціогеосистеми (на прикладі міста Харків)* (дисертація) / А.В. Мазурова. – Харків. – 2018. – С. 328.
14. *На Kyiv Smart City Forum 2019 нагороджені міста-лідери з впровадження інноваційних рішень* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://auc.org.ua/novyna/na-kyiv-smart-city-forum-2019-nagorodzeni-mista-lidery-z-vprovadzheniya-innovatsiynyh-rishen>
15. Немец Л. Н. *Устойчивое развитие: социально-географические аспекты (на примере Украины): Монография* / Л. Н. Немец // Харків: Факт. – 2003. – С. 383.
16. Немец К. *Особенности соціогеосистеми як об'єкта соціально-економічної географії* / К. Немец, Л. Немец // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2012. – №12 (1). – С. 39-42.
17. Сенюр О.В. *Чинники трансформації соціального простору міста в соціологічному дискурсі* [Електронний ресурс] / О.В. Сенюр // *Соціологія*. – 2015. – № 8 (124). – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/268616833.pdf> DOI: <https://doi.org/10.15421/1715161>
18. Сочувка А. *Общественно-географические особенности трансформации индустриальных регионов (на примере Катовицкой конурбации, Польша)* / А. Сочувка, А. Мазурова // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2017. – Випуск 23 (2). – С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-23-10>
19. Сунтелло О. С. *Демографічні трансформації в період постіндустріального переходу* / О.С. Сунтелло // *Науковий вісник херсонського державного університету. Серія Географічні науки*. – 2020. – №12. – С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2020-12-4>
20. *Харків визнаний кращим цифровим містом України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.city.kharkov.ua/uk/news/kharkiv-viznaniy-kraschim-tsifrovim-mistom-ukraini-45759.html>

21. Харьков – лучший инновационный город Украины по версии Kyiv Smart City Forum [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://izvestia.kharkov.ua/tv-proekty/hi/3253/1281539.html>
22. Чуєв О. С. Просторовий ГІС-аналіз індустріальної складової урбогеосистеми (на прикладі міста Харків) (дисертація) / О. С. Чуєв. – Харків. – 2018. – С. 306.

**Authors Contribution:** All authors have made an equal contribution to this work.

UDC 911.375:711.4

**Olga Suptelo,**

PhD student, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [suptelo@gmail.com](mailto:suptelo@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2901-8565>;

**Kateryna Sehida,**

Doctor of Science (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University,  
e-mail: [kateryna.sehida@karazin.ua](mailto:kateryna.sehida@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>

## FACTORS OF POST-INDUSTRIAL TRANSFORMATIONS OF URBAN SOCIOGEOSYSTEMS (case Kharkiv)

**Research problem introduction.** Modern society of highly developed countries, according to some scientists, is at the stage of post-industrial development, the rest are striving to reach this level and are in the process of transformation. The city, as a complex socio-geosystem, which is influenced by a number of external and internal factors, is a dynamic formation, which is characterized by the concepts of development and transformation. For Ukraine, as a part of the European region, the processes of post-industrial transformations are also characteristic. Kharkiv is a typical post-socialist city in the Eastern European region, which seeks post-industrial transformations. The study of post-industrial development factors is an important and relevant step in developing a strategy and planning for urban development, given the uniqueness of each individual city. The study of factors of development of this kind of city, gives the chance of implementation of the received results for implementation at planning of development of other cities.

**The purpose** of this study is to determine the main factors of post-industrial transformation of urban socio-geosystems on the example of Kharkiv. To achieve this purpose, the following research questions were asked: What periods of post-industrial transformation did the city of Kharkiv undergo? What factors and with what force influenced the transformation of the city?

**Research methods.** Multidisciplinary research approach to the study of cities and the peculiarities of their development, functioning and transformation, contributes to the formation of a significant set of interdisciplinary and specifically scientific research methods. Considering the city as a complex socio-geosystem, characterized by a significant set of development indicators, the most effective methods for determining specific factors of its transformation are mathematical and statistical methods, including cluster and factor analysis.

**Results, Scientific novelty, Practical significance.** Cluster analysis, as a grouping tool, allowed to streamline the indicators of socio-economic and spatial development of the city for the study period, and to establish three main stages of post-industrial transition: a period of development at the expense of residual resources (1991-1997); a period of crisis, the beginning of post-industrial transformations, the most striking manifestation of which is the process of *deindustrialization* (1998-2010); a period of gradual recovery from the economic crisis, the economic situation in the city is stabilizing, some industries are being modernized, activation post-industrial processes like gentrification, revitalization, neo-industrialization, tertialization (2011-2019). Factor analysis allowed to identify three main factors groups transformation of Kharkiv from industrial to post-industrial stages (1991-2019): 1) the structure of labor resources, their social protection and the most important sectors of the tertiary, quaternary and fifth sectors of the economy; 2) demographic development of the city; 3) age structure of the population and the main indicators of economic development. During the period of Ukraine's independence in Kharkiv, as in most powerful industrial cities of the country, transformations of all spheres of their functioning took place. In the period of post-industrial transformations, the combination and interconnection of the triad of these factors is constantly changing, changing the internal structure of the urban socio-geosystem and its appearance. At the same time, the composition and structure of the city's population, the structure of the economy and methods of production are transformed, the sphere of social security of the population and the non-productive sphere comes to the fore, the interaction of the population with the city is transformed. Determining the periods of Kharkiv development and the main factors of influence is an important step for creating and substantiating a comprehensive description of the city

in the period of post-industrial transformations, identifying problems and prospects for further development of the city.

**Keywords:** city transformations, development factors, factor analysis, post-industrial development, cluster analysis, urban sociogeosystem, Kharkiv.

#### References

1. Pike, A. (2017). *Case Study Report Glasgow* Available at: <https://www.cityevolutions.org.uk/wp-content/uploads/171211-Working-paper-8-Glasgow-case-study-report.pdf>
2. Bell, D. (1968) *Notes on the Post-Industrial Society*. *The Public Interest*. 7, 102-118.
3. Lefebvre, H. (1996). *Writings on cities*. Blackwell. Cambridge, MA, 250.
4. Weber, M. (2017). *The City*. Moscow: Strelka Press, 250.
5. Moser S., Fauveaud, G., Cutts, A. (2019). *Montréal: Towards a post-industrial reinvention*. *Cities*. 86, 125-135.
6. Niemets, L. Suptelo, O., Lohvynova, M., Sehida, K., Kliuchko, L. (2019). *Post-Industrial Development of The City of Kharkiv (Ukraine): Backgrounds and Realities*. *Proceedings of the 34nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019 – Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations Through Sustainable Economic Competitive Advantage*, 328-337.
7. Nilsson, L. (2017). *Urban Space in the Post-industrial Era* Available at: [https://www.historiaurbium.org/wp-content/uploads/2017/11/Lars-Nilsson\\_Urban-Space-in-the-Post-industrial-Era.pdf](https://www.historiaurbium.org/wp-content/uploads/2017/11/Lars-Nilsson_Urban-Space-in-the-Post-industrial-Era.pdf)
8. Reed, H. (1989) *Financial centre hegemony, interest rates and the global political economy*. *International Banking and Financial Centres*. London, 247-268.
9. Robinson, J. (2015). *Comparative Urbanism: New Geographies and Cultures of Theorizing the Urban*. *International journal of urban and regional research*, 187-199. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12273>
10. Bykova, M. D. (2019). *Postindustrial'na transformatsiya prostorovoyi orhanizatsiyi hospodarstva Kyieva (dysertatsiya) [Post-industrial transformation of the spatial organization of the economy of Kiev (dissertation)]*. Kiev, 192 [in Ukrainian]
11. Hnatyuk, O. M. (2017). *Prostorovi transformatsiyi urbanizovanykh terytoriy Ukrayiny peryferiyno-industrial'noho typu (na prykladi mist Zaporizhzhya i Zhovti Vody) [Spatial transformations of urbanized territories of Ukraine of peripheral-industrial type (on the example of the cities of Zaporizhia and Zhovti Vody)]* *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. Issue 46, 68-74. [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-09>
12. *Holovne upravlinnya statystyky v Kharkivskiy oblasti [Main Department of Statistics in Kharkiv Region]* Available at: <http://kh.ukrstat.gov.ua/>
13. Mazurova, A.V. (2018) *Suspil'no-heohrafichni osoblyvosti funktsionuvannya mis'koyi sotsioheosystemy (na prykladi mista Kharkiv) (dysertatsiya). [Socio-geographical features of the functioning of the urban socio-geosystem (on the example of the city of Kharkiv) (dissertation).]* Kharkiv, 328 [in Ukrainian]
14. *Na Kyiv Smart City Forum 2019 nahorodzeni mista-lidery z vprovadzheniya innovatsiynykh rishen' [At Kyiv Smart City Forum 2019, the leading cities in implementing innovative solutions were awarded]* Available at: <http://auc.org.ua/novyna/na-kyiv-smart-city-forum-2019-nagorodzeni-mista-lidery-z-vprovadzheniya-innovatsiynykh-rishen> [in Ukrainian]
15. Nemets, L. N. (2003) *Ustoychivoye razvitiye: sotsial'no-geograficheskiye aspekty (na primere Ukrainy): Monografiya. [Sustainable development: socio-geographical aspects (on the example of Ukraine): Monograph]* Kharkiv: Fact, 383 [in Russian]
16. Nyemets' K., Nyemets', L. (2012). *Osoblyvosti sotsioheosystemy yak ob'yekta sotsial'no-ekonomichnoyi heohrafiyi. [Features of the sociogeosystem as an object of socio-economic geography.]* *Human Geography Journal*. 12 (1), 39-42 [in Ukrainian]
17. Senyur, O.V. (2015) *Chynnyky transformatsiyi sotsial'noho prostoru mista v sotsiolohichnomu dyskursi. [Factors of transformation of the social space of the city in the sociological discourse.]* *Sociology*. 8 (124). Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/268616833.pdf> [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15421/1715161>
18. Sochuvka, A. Mazurova, A. (2017) *Obshchestvenno-geograficheskiye osobennosti transformatsii industrial'nykh regionov (na primere Katovitskoy konurbatsii, Pol'sha). [Socio-geographical features of the transformation of industrial regions (on the example of the Katowice conurbation, Poland).]* *Human Geography Journal*. Issue 23 (2), 60-67 DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-23-10> [in Russian]
19. Suptelo, O. S. (2020) *Demohrafichni transformatsiyi v period postindustrial'noho perekhodu [Demographic transformations in the period of post-industrial transition]* *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series «Geographical Sciences»* 12, 32-42. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2020-12-4> [in Ukrainian]
20. *Kharkiv vyznanyy krashchym tsyfrovym mistom Ukrayiny [Kharkiv is recognized as the best digital city in Ukraine]* Available at: <https://www.city.kharkov.ua/uk/news/kharkiv-viznany-kraschim-tsifrovim-mistom-ukraini-45759.html> [in Ukrainian]
21. *Khar'kov – luchshiy innovatsionnyy gorod Ukrainy po versii Kyiv Smart City Forum [Kharkiv is the best innovative city in Ukraine according to the Kyiv Smart City Forum]* Available at: <http://izvestia.kharkov.ua/tv-proekty/hi/3253/1281539.html> [in Russian]
22. Chuyev, O. S. (2018). *Prostorovyy HIS-analiz industrial'noyi skladovoyi urboheosystemy (na prykladi mista Kharkiv) (dysertatsiya) [Spatial GIS analysis of the industrial component of the urban geosystem (on the example of the city of Kharkov) (dissertation)]* Kharkiv, 306 [in Ukrainian]

UDC 338.484:502.15:556-022.252](55)

**Ebrahim Sharifzadeh Aghdam,**

PhD student, Department of Geography–Urban Planning, Ferdowsi University of Mashhad, Iran,  
Azadi Square, Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran, 9177948974,  
e-mail: [eb.sharifzadehaghdam@mail.um.ac.ir](mailto:eb.sharifzadehaghdam@mail.um.ac.ir); <http://orcid.org/0000-0002-3679-8013>;

**Arastou Kheirollahi,**

Ms. Geography–Tourism Planning, University of Zanjan,  
University Blvd., Zanjan, I. R. Iran, 45371-38791,  
e-mail: [arastoukh1989@gmail.com](mailto:arastoukh1989@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0831-017X>;

**Liudmyla Mykolaivna Niemets,**

Doctor of Science (Geography), Professor,  
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University, Ukraine,  
4 Svobody Sq., City of Kharkiv, Ukraine, 61022,  
e-mail: [ludmila.niemets@karazin.ua](mailto:ludmila.niemets@karazin.ua); <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>

## PERSPECTIVES OF THE TOURISM DEVELOPMENT IN TERMS OF WATER CRISIS (CASE STUDY OF IRAN)

**Е. Шаріфзадех Агдам, А. Хейроллахі, Л. М. Немець. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТУРИЗМУ В УМОВАХ ВОДНОЇ КРИЗИ (НА ПРИКЛАДІ ІРАНУ).** Іран – це країна, яка страждає не тільки від нестачі води, але і втрачає все більшу кількість доступних водних ресурсів. З іншого боку, ті, хто приймає рішення, затвердили подвійний план у 2004 та 2015 роках. Так звані 20-річний перспективний план туризму в Ірані (20YPT) та шостий план розвитку (SDP) мають намір реєструвати до 2025 року 20 мільйонів туристів. Дослідження ставить за мету оцінити та обчислити кількість води, яку потребують туристи, якщо і плани 20YPT, і SDP досягнуть успіху щодо трьох сценаріїв, для того, щоб відповісти на два наступні питання: 1 – Яку кількість води потребуватиме туристичний сектор? 2 – Який обсяг води сектор побутових комунальних послуг поділиться з туристичним сектором до 2025 року? Для відповіді на ці питання були використані статистичні методи, вивчення документів та інтерв'ю з експертами в рамках Delphi щодо систематичного методу вибірки. Проаналізовано обсяги споживання води в різних секторах економіки в світі, в Ірані, особливості впливу туризму на навколишнє середовище, розкрита проблема нестачі води в туристичній галузі. Зроблено прогноз кількості іноземних і внутрішніх туристів в Ірані за період 2016-2025 рр., спрогнозовані обсяги споживання води в туристичній сфері за трьома сценаріями: водокористування стабільно і однаково з місцевими жителями; водокористування вдвічі більше, ніж у місцевих жителів; використання води паралельно з темпами зростання світового попиту, які складають 4-8% в рік. Результати показують потенційну загрозу, якщо прогнози вірні, значна частина доступної чистої води на побутовій ділянці буде спрямована на туризм (від 19,5 до 69%). Перший сценарій визначений як оптимальний, другий варіант як кризовий, а третій – то, що розглядається. Визначено середню кількість води, необхідну для туристичного сектора з урахуванням неврахованої води, розроблено концептуальну модель наслідків незапланованого управління водними ресурсами в туризмі Ірану у 2016-2025 рр.

**Ключові слова:** водна криза, туризм, Іран, вода, водні ресурси, 20YPT, SDP, внутрішній сектор.

**Э. Шарифзадех Агдам, А. Хейроллахи, Л. Н. Немец. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО КРИЗИСА (НА ПРИМЕРЕ ИРАНА).** Иран – это страна, которая страдает не только от недостатка воды, но и теряет все большее количество доступных водных ресурсов. С другой стороны, те, кто принимает решения, утвердили двойной план в 2004 и 2015 годах. Так называемый 20-летний перспективный план туризма в Иране (20YPT) и шестой план развития (SDP) намерены регистрировать до 2025 года 20 млн. туристов. Исследование ставит целью оценить и вычислить количество воды, в которой нуждаются туристы, если и планы 20YPT, и SDP достигнут успеха по трем сценариям для того, чтобы ответить на два следующих вопроса: 1 – Какое количество воды потребует туристический сектор? 2 – Какой объем воды сектор бытовых коммунальных услуг поделится с туристическим сектором до 2025 года? Для ответа на эти вопросы были использованы статистические методы, изучение документов и интервью с экспертами в рамках Delphi по систематическому методу выборки. Проанализированы объемы потребления воды в разных секторах экономики в мире, в Иране, особенности влияния туризма на окружающую среду, раскрыта проблема недостатка воды в туристической отрасли. Сделан прогноз численности иностранных и внутренних туристов за период 2016-2025 гг., спрогнозированы объемы потребления воды в туристической сфере по трем сценариям: водопользование стабильно и одинаково с местными жителями; водопользование вдвое больше, чем у местных жителей; использование воды параллельно с темпами роста мирового спроса, которые составляют 4-8% в год. Результаты показывают потенциальную угрозу, если прогнозы верны, значительная часть доступной чистой воды на бытовом участке будет направлена на туризм (от 19,5 до 69%). Первый сценарий определен как оптимальный, второй вариант как кризисный, а третий – рассматриваемый. Определено среднее количество воды, необходимое для туристического сектора с учетом неучтенной воды, разработана концептуальная модель последствий незапланированного управления водными ресурсами в туризме Ирана 2016-2025 гг.

**Ключевые слова:** водный кризис, туризм, Иран, вода, водные ресурсы, 20YPT, SDP, внутренний сектор.

### Introduction

Tourism is an interactive phenomenon between tourist, nature and host community. [16] This sector is beyond industry that helps local markets to prosper and is spread out all over the globe. [12] With

regards to restricted available resources and critical conditions of main water resources, there should be a proper and stable framework. Therefore, tourism expansion is sustainable when it not only keeps natural resources for next generation but is also envi-

ronmentally friendly. Tourism should lead to local benefits with respect to ecological concerns and be aligned with social outcomes (Vujičić et al., 2018) [50].

Thus, identifying exact factors, analyzing the amount and the way of natural resources use, including water resources, their condition, pollution and unsustainable use, considering upcoming years with respect to strategic planning, can be very useful and is necessary. As a consequence, to identify factors that play important roles and their effects on "tourism planning", and moreover through predetermined purposeful short and long term steps in addition to adopting tourism development strategies may lead to interests in result [25].

Caring for natural resources in the coming decades requires planning for this activity and requires a detailed comprehensive study of this issue. Planning for future with strategic consistency due to its inherent features like rational decision making style (Jimenez, 2012: 583) and known pathway to desired future (Gates, 2010:), has made it necessary to consider this approach. [25] Therefore, in these studies the main objective is to optimize efficient and quality of planning the use of natural resources in uncertain conditions for the coming years [22, 48].

Even though many researchers have tried to identify and discover the different aspects of tourism, and proposed different patterns to evaluate sustainable tourism situation, [29] the significant issue is lack of a clear prospective view with respect to ecological matters, particularly water resources in underdeveloped countries that usually leads to destructive outcomes (Lukić, 2019) [11].

Iran is located on the dry region of the earth and has experienced droughts and water crisis for thousands of years. Geographical location, precipitation regime and temperature status have led to dry weather dominating the weather picture across the land. Iran's territory comprises 1% of global lands but has only 0.36 % of the average global precipitation [34] so water scarcity and crisis are common in most regions of Iran [31, 35].

Water related problems are of the most challenging barriers on the path of economic prosperity and development for Iran's tourism in decades to come. [34] We don't consider purposeful strategy for ecological and environmental matters and water resources conservation is regarded. Since water crisis becomes worse and available water for domestic sector as a sector which provides water required by tourism is limited, we have tried to estimate the number of tourists (both domestic and international) followed by the amount of water needed by tourism sector in Iran by 2025 in this research.

#### **Aims of the study**

- To clarify how valuable natural resources associated with tourism industry are:

- To assess efficiency of the relation between water resources and sustainable development of tourism industry

- To promote ecofriendly skills of visitors in order to have an interactive relationship with tourism assets

- To maximize economic, social and environmental benefits for both local communities and tourists

- To find out the value of Iran's experience with tourism development with conservation of natural resources for other countries, in particular for Ukraine.

With respect to the discussed subjects, the main questions are asked accordingly:

1- If 20YPPT and SDP meet their goals, how much water will be needed for tourism sector in Iran by 2025?

2- What will be the main challenges in the path of Iran's tourism in the next 10 years, regarding water resources?

3- Comparison of experience and problems of tourism development in Iran with a similar one in Ukraine.

Tourism water resources and environmental changes prospective are a precisely defined process that outline the long-term strategic research domains that dim the financial outcomes. Moreover, they offer the least damage to environmental matters, as well as providing suitable and sustainable scenarios to conserve/safeguard the environment. As a consequence, we provide our study that in terms of subject and covered area, it is kind of planning. Thus, according to the scale and the subject, this study is the first ever been carried out in Islamic Republic of Iran.

#### **Analysis of previous research**

Earlier studies on water and tourism focused solely on direct (onsite) water use in tourist facilities such as hotels, golf courses and swimming pools [18].

Lundie et al. (2007) estimate water use along with energy use, greenhouse gas emissions and ecological footprint for different tourism niche markets in Australia; their results show that tourism markets with high daily expenditure also appear to have the highest environmental impact [32].

World Bank & IMF (2007) claim that the amount of direct water use by tourists is not a matter of concern but the majority of water consumption goes for indirect activities including laundry, hygiene, cleaning and irrigation, they also report that due to many different industrial cleaners in the water wastes of hotels and resorts, nearby ground waters and rivers would be polluted easily. [30] Black & King (2009) studied water situation in Africa, they concluded that by 2050 some of the countries

in this continent including Tunisia, Morocco, South Africa, Moldavia, Dominica, Barbados and Malt with active tourism sector will face intense water crisis [4]. Reitano (2011) studied water use in Malta, their results show that due to high number of tourists the amount of the amount of water use of aquifers in this country is 58 billion m<sup>3</sup> while the renewable capacity of the ground water is just 30 billion m<sup>3</sup> [41]. Gössling et al. (2012) Review direct freshwater consumption in tourism from both quantitative and qualitative viewpoints to assess the current water demand of the tourism sector and to identify current and future management challenges. They conclude that even though tourism increases global water consumption, direct tourism-related water use is considerably less than 1% of global consumption, and will not become significant even if the sector continues to grow at anticipated rates of around 4% per year (international tourist arrivals). [19] Barberán et al. (2013) found that the average use per room per night in a four star hotel in Zaragoza, Spain, was 124.3 L of which 41.2 L were for hot water alone [1]. Tortella and Tirado (2011) reported a variation in water use between 156 L and 2425 L per guest night for hotels in Mallorca, Spain, and a range of variables were tested to examine what drives the differences between individual hotels [47]. Torres-Bagur M., Ribas A., Vila-Subirós J. (2019) note that lower water availability and growing needs due to climate change and an increase in the number of tourists in the Mediterranean basin are likely to exacerbate conflicts between socio-economic sectors that depend on the survival of water. Researchers conducted 19 detailed interviews with owners and managers of hotels in the Muga River Basin (Girona, northeastern Spain), analyzed measures to save water use, and studied proposed incentives and barriers. They found that the size of the hotel, category and year of construction / reconstruction were directly related to the implementation or lack of certain measures. They noted that efforts are needed to improve incentives and raise awareness and knowledge about water saving measures among hoteliers in this part of the Mediterranean basin, where water is a necessary resource for the tourism industry and many other sectors [58]. Also, the authors of Torres-Bagur M., Ribas A., Vila-Subirós J. (2019) investigated the identification of the main problems associated with climate change in order to develop effective mitigation and adaptation strategies to ensure the sustainability of tourism and natural resources on the example of the Mediterranean basin, which is a leading international tourism destination, especially vulnerable to the effects of climate change [59].

Behrouz (2013) has used SWOT method to analyze Iran's tourism, his results show that water

shortage in this country will be one of the most powerful barriers in the way of tourism development [3]. Becken (2014) Based on data from the AQUASTAT and EarthCheck tourist accommodation databases, analyzed tourism-related water use in 21 countries and compared it with other municipal use. Results show that the disparity between tourist water use and that of locals is also greatest in low or mid-income countries. On the other hand industrialized countries, in contrast, are characterized by high tourism water efficiencies, with no apparent discrepancy in water use between tourism and non-tourism users [2]. Cazcarro et al. (2014) have used a highly disaggregated input-output model to estimate tourist water footprints in Spain, offering a detailed breakdown of direct and indirect (from both local and imported products) water use. They conclude that in order to maximize potential water savings, the tourism industry should aim to reduce the quantity and water intensity of inputs used directly or indirectly in the production of tourist goods and services [7]. Another study is Sun & Pratt (2014), who estimate Eco-efficiency in terms of carbon and water use intensity for Chinese tourists in Taiwan, and compared this to four other major country markets. Their results show that Chinese tourists have a higher water use intensity compared to other tourists, mainly due to high expenditure on food products [43]. Hadjikakou (2015), showed that cheaper forms of tourism tend to have a significantly lower total water use and, depending on the economic impact indicator of interest, may have above-average economic contribution per unit of expenditure [21]. Page et al. (2015) studied water use approach (WUA) among tourists in Zambia, Gambia and Dominican, their results show that water shortage and its increasing intensity due to over use and climate change will result in formal and informal quarrels between tourists, local residents and the environment. In their eyes unawareness about water value is the reason for water scarcity in these countries [38].

Padli et al. (2015) investigates the impact of economic indicators and climate change on water demand for 13 states in Malaysia; results of their study indicate that total consumption per capita, agriculture and population density have a positive impact on water demand [37]. Tian et al. (2015) studied Yuan Yung in china and defined 4 components in tourism water use, 1- water use in accommodations 2- water use in transportation, 3- water use in food production and 4- water use in hygiene. Their results show that food production and hygiene covers 38% of the total water use in this region and are the dominant water users among other components. Also they claim that every destination have a water threshold, and this threshold for the case study area



is 14500 visitors per day, any number more than that would endanger the sustainability of the tourism in the region. [46] Tapper et al. (2015) believe that facing water crisis in touristic destinations like Mediterranean region, north of Africa and Caribbean's will intensely lower the popularity of these region. [45] Some other researchers suggest that in the matter of tourism, attentions must be paid first to the tourism economic benefits then to its environmental impacts, for example Zhang (2016) studied tourism in Zhiang Valley in china and suggested that tourists must be encouraged to consume as they wish to, in order to encourage more tourists to visit this destination via oral advertising in his opinion increasing GDP is more important than environmental impacts. Wells et al. (2016) suggests that educating tourism employees in hotels and other water consuming facilities related to tourism can have a great role in reducing water footprint of the employees and the sector in general [51]. Di Clemente et al. (2019) have tried to generate new sensitivity about the value of water and its importance in socioeconomic development and environmental conservation. The empirical results show the beginning of a change in water-based tourism from both a supply- and demand-side perspectives [10]. In our previous studies, we, in particularly, considered groundwater as a factor in sustainable regional development (Niemets L, 2016) [56], the importance of natural resource potential, including water resources, in the formation of Development Strategies for the regions of Ukraine (Niemets K., .... 2018) [54] and for the development of rural tourism in Ukraine (Niemets L, .... 2018) [55], the use brownfields and greyfields (Morar et al., 2016; L. Niemets..., 2018) [60], industrial heritage (Morar et al., 2019; L. Niemets..., 2019) [61], features of post-industrial development of Ukrainian cities based especially on the tourism development (L. Niemets..., 2019) [62], smart transformation (Niemets et al., 2018) and technology advancements (Kostrikov et al., 2018; Stankov et al, 2019).

### **Methodology**

A comprehensive study of tourism development prospects in a water crisis lies in the objective field of the study of human geography, it should be based on methodological tools of human geography, it envisages the use of systematic, synergistic and information approaches, GIS approach and spatial analysis (Kostrikov, ... 2018) [57], as well as the key research methods, first of all – analysis of the state, dynamics, monitoring the development of the studied object (Niemets K, .... 2016) [53].

Water related strategic research is a kind of planning aimed at the realization of long-term goals in tourism and water resources prospective in Iran, which is based on the goals of the two above men-

tioned plans, (20YPPT & SDP). Such research helps us to assess the water use that this sector needs, in this path, and its impact, thus views of experts and bright minds in the field are necessary.

In current study, researchers aim to clarify the type and intensity of the impact of tourism sector on water resources till 2025. Undoubtedly by clarifying these impacts, there will be a possibility to identify the exact amount of water tourists might need in these mentioned years and to make effective decisions through identifying weaknesses and opportunities. So, in this study we assume that according to 20YPPT and SDP plans, the number of international arrivals will experience 15% annual growth and this flow will continue till 2025. On the other hand, domestic tourists would have the same growth rate as the population. With this method, we can calculate the number of tourists for each year till 2025. Also, according to statistics, the amount of available water per capita will be calculated and its decreasing rate will be clarified. After that, share of fresh water of each sector of the country will be calculated as well. In the next step, the amount of water needed for tourists will be calculated for each year till 2025 and finally, that amount will be compared to the total share of domestic sector.

It is necessary to mention that after the Iranian Islamic revolution in 1979, due to factors like lack of hard work and management skills and intentional ignorance, very few of the development plans have reached their goals. For example, in 2016, the number of international arrivals was at least 50 % behind the scheduled growth approved in the 20YPPT and in the most optimistic view, this was 26 % behind the goals of SDP. (ICTHO) The research method in this study is a descriptive-analysis, in the first step, based on the title of the study, theoretical approaches and empirical considerations, collecting data method was documentary and based on 20YPPT and SDP documents.

In continue, using forecasting approach, in a framework consisting of factors and parameters effective on water required by tourists in Iran, we have analyzed the environmental impacts of water usage by tourists in micro and macro scales. Also, document study and open questionnaire in Delphi framework along with scenario analysis has been used; further, estimations of the numbers are based on statistics given by governmental organizations in if they were reliable.

Our research involves, in particular, strategic planning of tourism development in terms of the water crisis, and speaking of planning, we should mention the need to build an executive system, an important element of it is the monitoring subsystem (Niemets K,... 2016) [53]. It provides primary information on the state and behavior of the natural

system and functioning of the executive system, its primary analysis, processing, synthesis, storage and communication. Monitoring information is used to

justify, make and implement management decisions. In order to evaluate the outcome of a management impact, there is a feedback channel (from object to

Table 1

Required Data

	Data	Source
1	Total amount of renewable water in Iran (million m <sup>3</sup> )	Ministry of power of IRI
2	The amount of annual decrease in water per capita	Study estimation
3	Domestic sectors share of renewable water (%)	Organization of water and sanitation
4	Total amount of consumed water in domestic sector	Ministry of power, ministry of agriculture
5	Number of international arrivals in 2015	Document of Iran's tourism prospective (2015)
6	Average of foreign tourists stay in destination in 2015	Document of Iran's tourism prospective (2015)
7	Expected growth rate for tourists till 2025	Sixth Development Plan (SDP)
8	Number of domestic tourists who end up staying at least for one night in accommodations like hotels	Center of statistics in Iran
9	Direct and indirect water usage by tourists considering the accommodation situation	[19]

Source: Study Findings

Table 2

Field of Expertise and Education Level of Delphi Method Participants

Field of Expertise	Number	Education level	Number
Future analysis planning	4	Diploma	3
Hospitality Planning	8	Bachelor's Degree	10
Urban Management	4	Master's Degree	13
Political management	3	Ph.D	9
Spatial Management	4		
Tourism Management	5		
Water Resources	5		
Environment	2		

Source: Study Findings

the subject of management) through which the primary monitoring information – the flow of signals about reaction and the state of the object - is circulated. It is also worth noting that recently the ineffectiveness of the management activity of the society has become increasingly clear. Society, taking on the function of system - and mode-shaping factor in nature, did not ensure the proper level of environmental management, it is necessary to move to the study of natural systems and processes from the standpoint of information interaction. The amount of monitoring information in the general case may be different, but should provide a reliable assessment of the state of the environment (Niemets K, ... 2016) [53].

#### Theoretical literature

##### Tourism and Water Resources

Water is one of the vital resources for economic development and vital activity. This matter has had a vital role in locating settlements, development and structure of communities throughout human history. [8] Renewable and adequate water resources and

also conserving these resources via effective skilled management is now and has always been vital to guarantee all aspects of human and other animal's lives [52]. Therefore, carelessness toward this vital source can result in a bitter crises for mankind and also all living creatures. That is why the global economy forum has claimed water shortage to be the 8<sup>th</sup> biggest problem in the new world and estimates that any country may face drought once every 10 years. Globally, approximately 70 % of renewable water is being consumed in agriculture sector while this share in Iran is 92 %. Industry takes 20 % and domestic sector takes 10 % of the total available water. This share in Iran is 4 % for industry and 4 % for domestic sector. The amount of water per capita in years 1998, 2025 and 2050 is anticipated to be 6918, 5103 and 4380 cubic meters. That is a noticeable decrease [6]. Not to mention that these water resources are distributed unequally around the world. Tourism is effecting the environment that it is interacting with. This industry even has a 4-5 % share in greenhouse gas emission [18]. Develop-

ment in tourism industry encourages investors to invest in this sector while they might not be aware about the impacts of their investment on environment and local communities [42].

One of the most important challenges that tourism is facing is the presence of environmentally clear water that tourists consume during their period of stay. Salt increase in water resources, land degradation and quality decrease in surface underground water resources are the impacts that tourists with high water consumption rate can impose on natural resources in destinations.

#### **Water crisis and tourism**

Tourism is divided into many sorts of activities. Cultural tourism, natural tourism, eco-tourism, winter tourism, 4S tourism, adventure tourism, etc. All these activities have one thing in common, they all rely on water, so they cannot be done without having access to a certain amount of water.

Tourists need water for personal use in accommodations and also many tourist activities depend on water. Meanwhile, in most cases the average water use among tourists is more than that of the locals' consumption. This dependence on water has made this matter a vital source in the sector. Therefore, several tourist destinations are facing water related problems, many of these destinations are located in regions that the water shortage has always been a problem and it is becoming worse, has always been a problem and has become worse with the introduction of tourism. Highest water consumption in destinations usually happens in hot seasons. In this season water consumption rate goes up in both international and domestic tourists. Tourism's increasing need for and dependence on fresh water has led countries to use not only the sustainable resources but also other available resources, and this flow has led to many countries having to face water-related problems. Tourists usually consume water 2-5 times more than local residents. Generally, the amount of water being used by tourists is twice as much as host community members. In this sector, by both accommodations and tourists, water is being used more than the average use of host communities.

This overuse can lead to water shortage in one hand and additional waste production on the other. [44] In this sector, hotels mostly have negative impacts on the environment, the scale of these kinds of impacts is considerably more than what communities assume [5].

A decent suite in a 5 star hotel consumes an average 1400 liters of water per night, this amount of water is equal to the provision of water needs of 14 local residents of that very destination. [28]

Water use is divided into two categories: 1- Direct Use 2- Indirect Use. Direct water use refers to

the water tourists use directly for drinking, showering or brushing their teeth, etc., Average amount of this usage is 150-400 liters per night [18]. Indirect water use refers to the amount of water needed for providing food, accommodation, construction and maintenance<sup>1</sup> (Page et al. 2014), which is considerably more than direct usage [30].

#### **Water crisis in Iran and its relation with Tourism**

According to three international water measurement indexes (Falken Mark Index, International Water Management Institute Index, and United Nations Index) Iran is currently in an unsuitable situation [35]. On the other hand, total annual precipitation in Iran is a number near 400 billion m<sup>3</sup>. Of this amount, 270 billion returns back to atmosphere due to vaporization, of the remaining 130 billion, 92 billion joins surface waters and 38 billion gets added to underground aquifers.

Total annual precipitation for Iran is 250 mm which is one third of the global average. Unfortunately, based on Mohammadi (2010), precipitation in this country is reducing 0.64 mm annually [33]. Furthermore, according to World Bank statistics, water usage index for drinking for 1 person is 1 m<sup>3</sup> per year and for sanitation related activities is 100 m<sup>3</sup> per year. Meanwhile, in Iran these indexes are intense due to not having second pipelines for uses other than drinking, people use clean water to wash cars, water gardens, etc. For this reason, Iranians use 70-80 % more water than the global average. In another statistic, average water use per person is 580 m<sup>3</sup> annually while this amount in Iran is near 1300 m<sup>3</sup>. Iranians not only overuse water, but also they overuse other resources like electricity. For example, domestic electricity usage per capita in Iran is 2900 K/H, while global average is less than 1000 K/H. In other words, Iranians use electricity triple the global average. Generally, water resources in Iran are under tremendous pressure due to overuse, this water cannot be replaced or recycled with fresh water every year, so it seems that water crisis in full scale is inevitable in Iran till 2025 [39].

According to acquired data, water per capita in 11 provinces out of 31, is less than 1700 m<sup>3</sup> which shows that these regions are on the edge of a water crisis [36]. Meanwhile, some organizations like Ministry of Power or Ministry of Agriculture claim that the water crisis threshold is 1300-1400 at the best assumption. The amount of renewable water per capita in Iran has consistently reduced from 7000 to 1990 m<sup>3</sup> in just 40 years [14]. Even the aq-

<sup>1</sup> For example, in order to provide just food for only one person, 3000 liters of water is required. Meanwhile all a tourist needs for drinking as a direct use, is 2-5 liters per day.

uifers Iran shares with other countries are in a bad situation. [14] Iran acquires 30 billion m<sup>3</sup> of renewable water in 2016, meanwhile 58 billion m<sup>3</sup> is pulled out of underground aquifers, almost twice as much as the usable capacity. In year 2015, Iran had 700000 water wells, 300000 of which were illegally dug [27]. The average land drop in Iran is 20 centimeters annually while this phenomenon in some areas reaches over 8 meters. The share of domestic, industry and agriculture sectors in Iran of renewable water is 4, 4 and 92 % respectively. Even though the water efficiency in agriculture despite all this usage, due to the sector being traditional, is very low and around 30 %; this means 62% of that valuable water is being wasted every year [35]. It is estimated that renewable water per capita in Iran will decrease to under 800 m<sup>3</sup> till 2021, while in that same years, average global water per capita will be 1000m<sup>3</sup> [17].

**The goals of SDP and 20YPIT**

In 2016, Iran's tourism growth rate was twice as much as the global average, nevertheless, Iran's total arrivals do not include more than 0.05% of total international tourists. Iran had 5200000 arrivals in 2015, therefore Iranian policy makers approved 2 plans to compensate for the lack of arrivals: 20YPPT which was approved in 2005 and SDP which was approved in 2016.

20YPIT, approved on January 3, 2005; according to this plan Iran has to attract at least 1.5 % of the global arrivals till 2025 and have the tourism

revenue rise up from 0.07% to 2% till the end of the program. This means that it would have 25 billion US dollars income from tourism till 2025.

SDP: approved in 2015, in this plan also, policy makers intended to have 15 % annual growth in international arrivals between 2015 and 2020. From which, Iran would have 13 million arrivals and 10 US dollars revenue for the sector. In this plan they are attempting to attract 1 % of Chinese tourists, 1 % of Russians, 1 % of Europeans, 3 % of Shia Muslims and 1 % of total Muslims of the world which, if they succeed, the number will reach over 32 million arrivals annually. This amount could compensate for all the plans approved previously.

In the following step, the average annual amount of water degradation per capita has been calculated. After studying the related documents, it has been revealed that the average amount of renewable water per capita was around 7000 m<sup>3</sup> in 1952, meanwhile this amount in 2016 was just 1300, so it can be concluded that water degradation amount in Iran is a number between 75-103 cubic meters per year and this flow continues to go on. Therefore, the shares of domestic and tourism sectors of renewable water till 2025 is estimated, it is needless to say these amounts will be calculated based on the share of domestic section which is 4-5 %.

It is necessary to mention that this average has been calculated in the most optimistic view, simply because we have been witnessing more diversity in

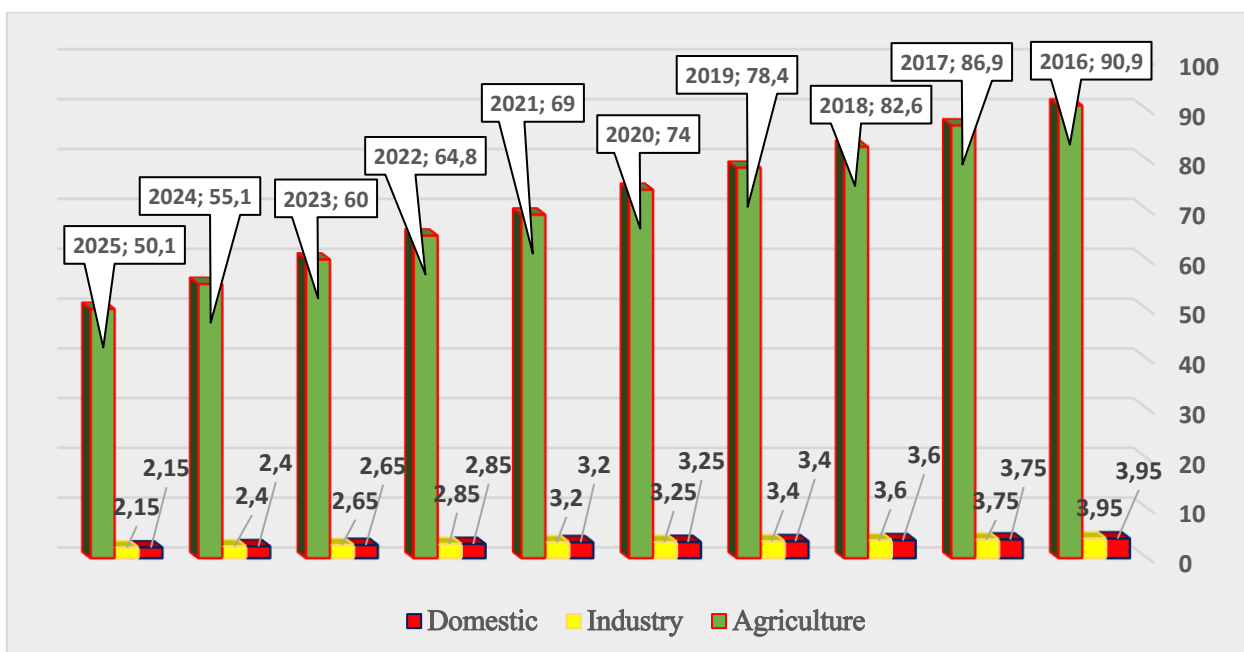


Fig. 1. Share of each sector of renewable water based on the annual estimated decrease of 69 m<sup>3</sup> per year "2016-2025" (69= average of 75 & 103 m<sup>3</sup>) (Source: Study Findings)

water related activities and higher lifestyle standards, more cultivated lands and more industrial activities compared to previous decades. On the other hand, it has been estimated that water per capita in

Iran will continue to drop at a relatively fast pace, even though, the share of each sector will remain the same as it was before. According to the results, the share of domestic sector which is the sector provid-

ing water for tourism, will drop from 3.95 in 2016 to 2.15 in 2025. Nevertheless, this sector has to provide water, not only for itself and the tourism sector, but also for the sectors of commerce and service.

Iran has been using one type of plumbing for domestic section which delivers just drinkable clear water to residential homes, of course, most of the developed countries have two kinds of plumbing which deliver drinkable and undrinkable water separately. This factor alone has a great deal of effect on how much water the domestic section is using now.

Now, in the next step, the rise in tourist numbers including international and domestic is calculated. To do so, we based our numbers on the 15% growth rate designated in the SDP per year for international tourists and a growth rate parallel to population growth, for domestic tourists, although other factors like economic power and economic situation might be involved. For that, all of our scenarios are based on an economic stability, because it is clear that the potential for travel is directly related to the economic situation of tourists. Since the main

objective of the study is to estimate the amount of required water by tourists, then number of tourists in both categories will be multiplied by how many nights they stay on average at their destinations. The result is Person-Night-Stay or PNS. As it has been calculated in government statistics, Iran had 5.2 million international tourists in 2015. The average stay for each tourist is 7 nights, so international tourists stayed 36 million nights in Iran in this year on average.

Based on the 15% growth rate and if those plans succeed, the number of PNS for international tourists will go from 54.6 million in 2016 to 195.7 million in 2025. In the following table also, the number of domestic tourists is estimated based on population growth rate, (1.3% per year based on 2011 census). Also, in this calculation those categories of tourists whose travel has not included night stay are excluded. The average PNS for domestic tourists is 4 nights.

According to Center of Statistics of IR.Iran, in 2013, 60% of travels by domestic tourists resulted in

*Table 3*

Estimated Number of International Arrivals in 2016 to 2025 based on 15% Growth Rate approved in SDP (Million)

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Number	7.8	8.97	10.31	11.86	13.64	15.69	18.4	21.1	24.33	<b>27.97</b>
PNS	54.6	62.8	72.1	83	95.4	109.8	128.8	147.7	170.3	<b>195.7</b>

Source: Study Findings

*Table 4*

Estimation of Domestic Tourists Number till 2025 (Million)

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Population	51	51.5	52	52.5	53	53.5	54	54.5	55	55.5
PNS	122.4	123.6	124.8	126	127.2	128.4	129.6	130.8	132	133.2

Source: Study Findings

night stay and 40 % did not. Now that numbers of the average of renewable water decrease per capita, domestic tourists and international tourists have been estimated, the amount of water they need for each year is required to be calculated. For this, it is necessary to consider a scientific based water per capita for direct and indirect water use for tourists. Unfortunately, any official exact or accurate number of water per capita for tourists in Iran was found by this study's researchers simply because tourism is not welcomed as a money making or important sector in this country -due to Islamic laws and political reasons- So the only alternative was to use a scientific international number [19]. Therefore, based on this number, for regions like Iran which has a semi dry climate, with numerous average class hotels and less luxury resorts and accommodation centers, the

amount of 150-200 liters per night is considered to be suitable for direct use of tourists.

The following Per Capita numbers have been used:

1- Direct water use for each tourist is considered to be 150-200 liters per night or 175 liters averagely [19]

2- Indirect water use for each tourist is considered to be between 400-2000 liters per night or 1200 liters averagely [19].

According to the insights of many scholars, the average water use by tourists is always more than the water consumption by local people of host destinations, 2 to 3 times more in other words. So calculations must be done in 3 different scenarios as:

1- In a situation in which water use is stable and the same with local residents.

2- Water use is twice as much as locals, 3- Water use is parallel to global demand growth rate which is 4-8% annually [14].

3- Direct water use per capita for each local resident is 157 liters per night [36].

The Table below shows the per capita alteration in different scenarios. First, the amount of water use for each of the 3 categories has been estimated, then it has been compared to the share of available water for domestic section.

Table 5

Per Capita and the amount of increase in triple scenarios

Per capita (liters)	Growth Rate %	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
175	fixed	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
175	6	185	190	201.4	213	226	239	253	268	280	296
1200	fixed	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
1200	6	1272	1368	1428	1513	1603	1699	1800	1908	2022	2163
1200	double	2544	2696	2856	3026	3206	3398	3600	3816	4044	4286
157	6	166	178.5	187	192	203	216	228	246	258	272
157	100	332	357	374	384	406	432	456	486	516	546

Source: Study Findings

In scenario 1, the amount of water usage among tourists is considered to be stable and between 150-200 liters which would be 175 liters averagely. Based on this, the amount of water usage among tourists is estimated to be 243 million m<sup>3</sup> in 2016 and will rise up to 451 million in 2025.

In scenario 2, water usage by tourists is considered to be twice as much as local residents. According to other scholar's findings, results of this scenario are nearer to reality compared to the other 2 scenarios. The table below shows the numbers calculated based on this scenario. In this case the amount of water usage for local residents is considered to be 157 liters per night with an annual growth rate of 6 %, and usage of water by tourists will be considered twice as much as this; given the 6 % growth rate, water consumption for tourists will face an annual increase each year parallel to local residents usage.

As it is visible in the table, the amount of water required by tourists starts from 515 million m<sup>3</sup> and goes up to 1743 million in 2025. This amount is approximately 4 times more than the amount which has been calculated based on scenario 1 while the chances of this scenario happening is more than the other 2. In last scenario a 6 % water consumption growth rate is considered for direct and indirect usage, matched up with global growth rate (4-8 %). The Table below shows the amount of required water by tourists based on scenario 3.

Given the data, it has been shown clearly that in this scenario also, total amount of water needed by tourists was 283 million cubic meters in 2016 and goes up to 798 million in 2025. Water usage wise, scenario number 2 ranks first and number 3 and number 1 will follow respectively.

As it is clear, share of tourism sector of available water is not the same in all 3 scenarios. As the

share of tourism in the first scenario is less than what it will be in the other 2. In this scenario, share of tourism of available water in domestic sector goes from 6.15 % in 2016 up to 19.5 % in 2025.

So the most optimistic scenario would be number 1, and most probably water consumption of tourists in reality will be more than what is estimated based on this scenario. Meanwhile, scenario number 2 shows that the share of tourism of available water in domestic section rose from 19.1 % in 2016 and will rise to 69 % in 2025.

Since tourists usually consume more water compared to local residents, therefore it is reasonable to consider this scenario more likely to happen compared to other 2. Finally, in scenario 3, this share goes from 7.1% in 2016 and is expected to increase to 37.1% in 2025.

Results showed that in scenario 1, domestic tourist's water use is more than usage by international tourists, but in next 2 scenarios and due to longer PNS of international tourists and their rising numbers, the flow will become vice versa. Based on this and considering given theories in this field, above mentioned scenarios aim to explain desirability degree, compatibility coefficient and the degree of feasibility.

While offering scenarios with high compatibility coefficient and ideal desirability, and futurology of the amount of required water in tourism sector in Iran, in case that SDP reaches its goals, the following claims can be offered: Given the unstability of the tourism system in Iran due to mainly political reasons, and also multi-dimensional identity of some of the research variables, in this part, with help of sample community insights and software analysis and after assessing the possibility of each scenarios probability, suitable to situation of

Table 6

The Amount of Water needed by Tourists for Direct and Indirect Usage,  
assuming that Per Capita is fixed, Scenario 1, (Million m<sup>3</sup>)

Year	Per capita		Internationals			Domestics			Sum of both
	direct	indirect	Direct use	Indirect use	total	Direct use	Indirect use	total	
2016	175	1200	9.55	65.5	75	21.4	146.6	168	243
2017	175	1200	11	75.3	86	21.6	148.3	170	256
2018	175	1200	12.6	86.5	99	21.4	149.7	171	270
2019	175	1200	14.5	99.6	114	22.5	151.2	173	287
2020	175	1200	16.6	114.4	131	22.26	152.6	174	305
2021	175	1200	19.2	131.7	151	22.47	154.1	176	327
2022	175	1200	22.5	154.5	177	22.68	155.5	178	355
2023	175	1200	25.8	177.2	203	22.89	156.9	180	383
2024	175	1200	29.8	204.3	234	23.10	158.4	181	415
2025	175	1200	34.2	234.8	269	23.13	158.6	182	451

Source: Study Findings

Table 7

The Amount of Water needed for International Tourists for both Direct and Indirect use,  
(Scenario 2)

Year	Per Capita		Internationals			Domestics			Sum of both
	direct	indirect	Direct use	Indirect use	total	Direct use	Indirect use	total	
2016	370	2544	20	139	159	45	311	356	515
2017	380	2696	23	169	192	46	333	379	571
2018	402	3174	28	226	254	50	392	442	969
2019	426	3335	35	276	311	53	420	473	784
2020	452	3535	43	337	380	57	449	506	886
2021	478	3747	52	411	463	61	481	542	1005
2022	506	3971	65	511	576	65	514	579	1155
2023	536	4209	79	621	700	70	550	620	1320
2024	560	4461	95	759	854	73	558	661	1515
2025	592	4728	115	925	1040	78	625	703	1743

Source: Study Findings

Table 8

The Amount of water needed for tourists for direct and indirect water use,  
with a growth rate of 6 % (Scenario 3)

Year	Per Capita		Internationals			Domestics			Sum of Both
	Direct	Indirect	Direct use	Indirect use	Total	Direct use	Indirect use	Total	
2016	185	1272	22	155	177	10	84	94	283
2017	190	1348	23	166	189	11	96	107	284
2018	201	1428	25	178	203	14	102	116	319
2019	213	1513	26	190	216	17	125	142	358
2020	226	1603	28	203	231	21	152	173	404
2021	239	1699	30	216	248	26	186	212	460
2022	253	1800	32	231	265	32	231	263	528
2023	268	1908	35	248	284	39	281	320	604
2024	280	2022	36	265	302	47	344	391	693
2025	296	2143	39	284	322	57	419	476	798

Source: Study Findings

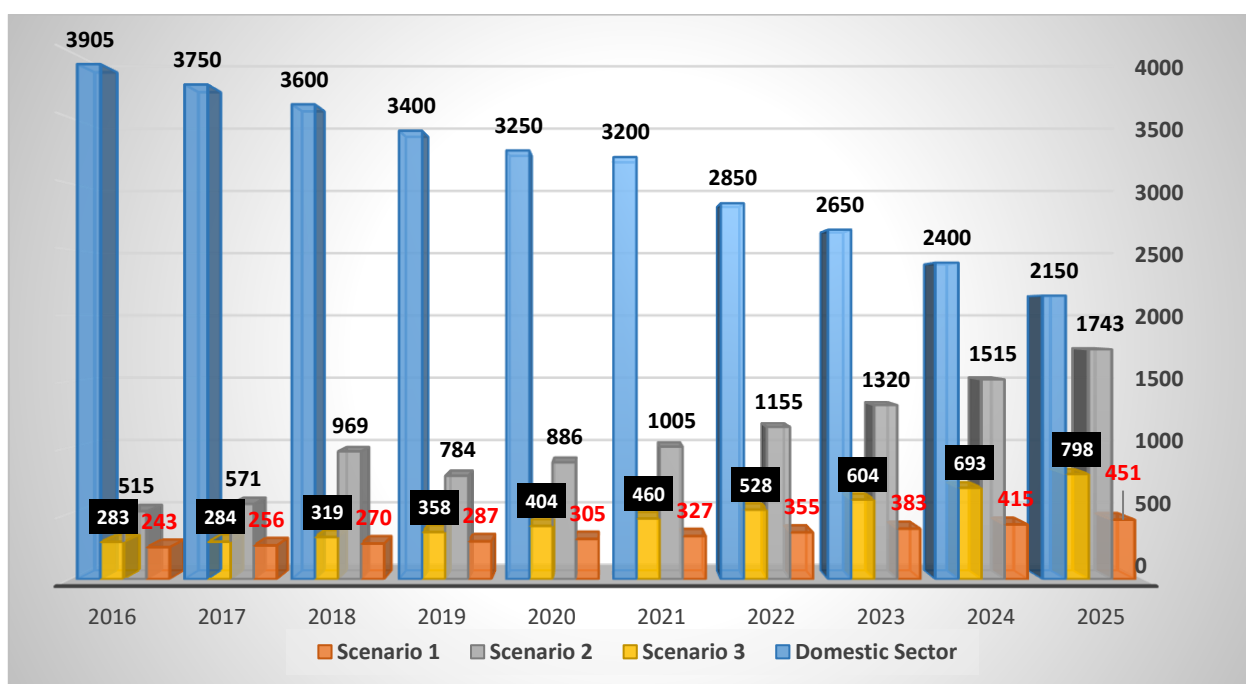


Fig. 2. Share of tourism sector of available water in 3 different scenarios compared to the total share of available water in domestic sector in (2016 to 2025) (Source: Study Findings)

elements related to different scriptors of the research, the objective is to identify 3 states. These states are shown as following: The most ideal

assessed states in scenario framework of ideal credibility is shown in green, semi ideal state is in orange, and finally the worst scenario is shown in red.

Table 9

Assessing the quality of scenarios in estimating the amount of water required by tourists if SDP would succeed

Scenario	Details (2016-2025)	Condition	Quality	Possibility
1	If water consumption amongst tourists would be stable with no rise in rate till 2025, the share of water needed in tourism compared to domestic section will go from 6.15 to 19.1 which is acceptable and not harmful to water resources	Optimal	Green	Low
2	If tourists consume twice as much as local residents, the share of the tourism sector of the total water in domestic sector will go from 19.1 % up to 69 % which is completely dangerous to water resources	Crisis	Red	High
3	If tourists consume water with a growth rate parallel to the international annual growth rate (6 %), tourism share of available water in domestic section will go from 7.1 to 37.1 %	Considerable	orange	Medium

Source: Study Findings

### Discussion and conclusions

All types of tourism depend on water in many cases. Iran, on the other hand, due to water shortage and unsuitable administration and management, especially after the Islamic Revolution in 1979, is faced with many water resources related problems. Now, the water crisis has been triggered in 11 out of 31 provinces in Iran.

Plans like SDP and 20YPPT have targeted some goals in tourism and have attended to have the

number of tourist's rise, if these goals are achieved, international and domestic tourist's numbers will rise to twice and three times what they are now, therefore their need of fresh and clean water will follow the same pattern. In this study, the amount of water required by possible future tourists, separately for both international and domestic, has been estimated with the help of statistical tools and methods. Considering the annual decrease of water per capita in one hand, and the possible increase in tourist



numbers on the other, water resources must be the focus point of any plan designed to develop tourism in this country. Domestic sector in Iran has a 4 % share of total renewable fresh water which, based on the results, this amount which was 3.95 billion m<sup>3</sup> in 2016, will decrease to 2.15 billion in 2025. Since this 4 % share will most probably remain unchanged, with the numbers of tourists rising, and given the amount of water they use compared to locals, this sector will face inevitable yet increasing pressure to provide the water needs of itself and subsectors like tourism. Nevertheless, the amount of wasted water in Iran's traditional pipelines (uncounted water) is considerable and is estimated to be 18-38% (24% average), this is twice as much as global average. Therefore, whatever water tourists might need now and in the future, providers must add the percentage of waste of pipelines to it, in order to deliver the actual needed amount to the sector.

Plans like SDP and 20YPPT have targeted some goals in tourism and have attended to have the number of tourist's rise, if these goals are achieved, international and domestic tourist's numbers will rise to twice and three times what they are now, therefore their need of fresh and clean water will

follow the same pattern. In this study, the amount of water required by possible future tourists, separately for both international and domestic, has been estimated with the help of statistical tools and methods. Considering the annual decrease of water per capita in one hand, and the possible increase in tourist numbers on the other, water resources must be the focus point of any plan designed to develop tourism in this country. Domestic sector in Iran has a 4 % share of total renewable fresh water which, based on the results, this amount which was 3.95 billion m<sup>3</sup> in 2016, will decrease to 2.15 billion in 2025. Since this 4 % share will most probably remain unchanged, with the numbers of tourists rising, and given the amount of water they use compared to locals, this sector will face inevitable yet increasing pressure to provide the water needs of itself and subsectors like tourism. Nevertheless, the amount of wasted water in Iran's traditional pipelines (uncounted water) is considerable and is estimated to be 18-38% (24% average), this is twice as much as global average. Therefore, whatever water tourists might need now and in the future, providers must add the percentage of waste of pipelines to it, in order to deliver the actual needed amount to the sector.

*Table 10*

The Average amount of Water needed for Tourism Sector in 2016-2025 with adding Uncounted Water (Billion m<sup>3</sup>)

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Net Demand	0.43	0.45	0.51	0.55	0.59	0.64	0.7	0.77	0.83	1
Uncounted Water	0.102	0.107	0.121	0.131	0.142	0.154	0.168	0.183	0.200	0.240
Total	0.530	0.555	0.629	0.679	0.734	0.798	0.870	0.949	1.03	1.24

Source: Study Findings

As can be clearly seen, if tourists for example need 1 billion m<sup>3</sup> of water in 2025, providers must provide at least 1.24 billion m<sup>3</sup> in order to deliver net demand of 1 billion to the sector.

In conclusion, assuming the share of domestic sector remains fixed, water usage in tourism sector in this 10 year period will create serious barriers on the domestic sectors path to provide water for its other divisions. It must be remembered that Iran is located on the dry belt of the planet earth, also lack of precipitation does not let this country's aquifers renew their resources in a convenient time, and therefore, if the methods of water use in Iran do not go toward sustainable use, this country will face irreparable damages. On the other hand, with the plans to provide water for tourism sector facing failure, all the main plans for tourism development will subsequently fail as well. Results of current study are in contrast with Gossling et al. 2012, by which they have claimed that water consumption in tourist destinations does not surpass 5.5 % of total water use, also it rejects the suggestions offered by

Sorensson & Friedrichs, (2013) through which they conclude that domestic tourists have the most sustainable approach in water usage compared to international tourists.

Results show that after comparing the estimated water needs of future tourists in Iran till 2025, this country-like other tourist destinations including Spain, France, Malaysia, Greece, Netherlands, Uruguay, Poland, Ukraine, etc. - will have to share the total water share of domestic sector between tourists and locals with an even share of 50-50. Whereas most of these countries are categorized among lands with adequate water resources, Iran is a country even currently in crisis based on some water measurement indicators.

Local communities in destinations are the first group who directly feel the pressure of water shortage driven by tourists over use. [9] If tourism development plans in Iran reach their goals, this will force destinations with less water resources to distribute water unequally among locals and tourists in favor of tourists, so local residents will face pressure

and that might begin objections and even chaos. Results show that despite the small number of tourist arrivals in current years, in case of dual plans succeeding, the share of tourism of the total renewable water in domestic sector will be several times more. Nevertheless, in a probable scenario, this share will increase from 19.1 % in 2016 up to 69.1 % in 2025. This certainly will increase the possibility of water

crisis.

As a result, as Tapper et al. (2011) have mentioned, facing water crisis or even water shortage in any destination could damage the popularity of that location [45] and it would result in a dramatic decrease in tourist's arrivals. Integrated water resources management at a national level, forcing all accommodation centers to use less fresh water if pos-

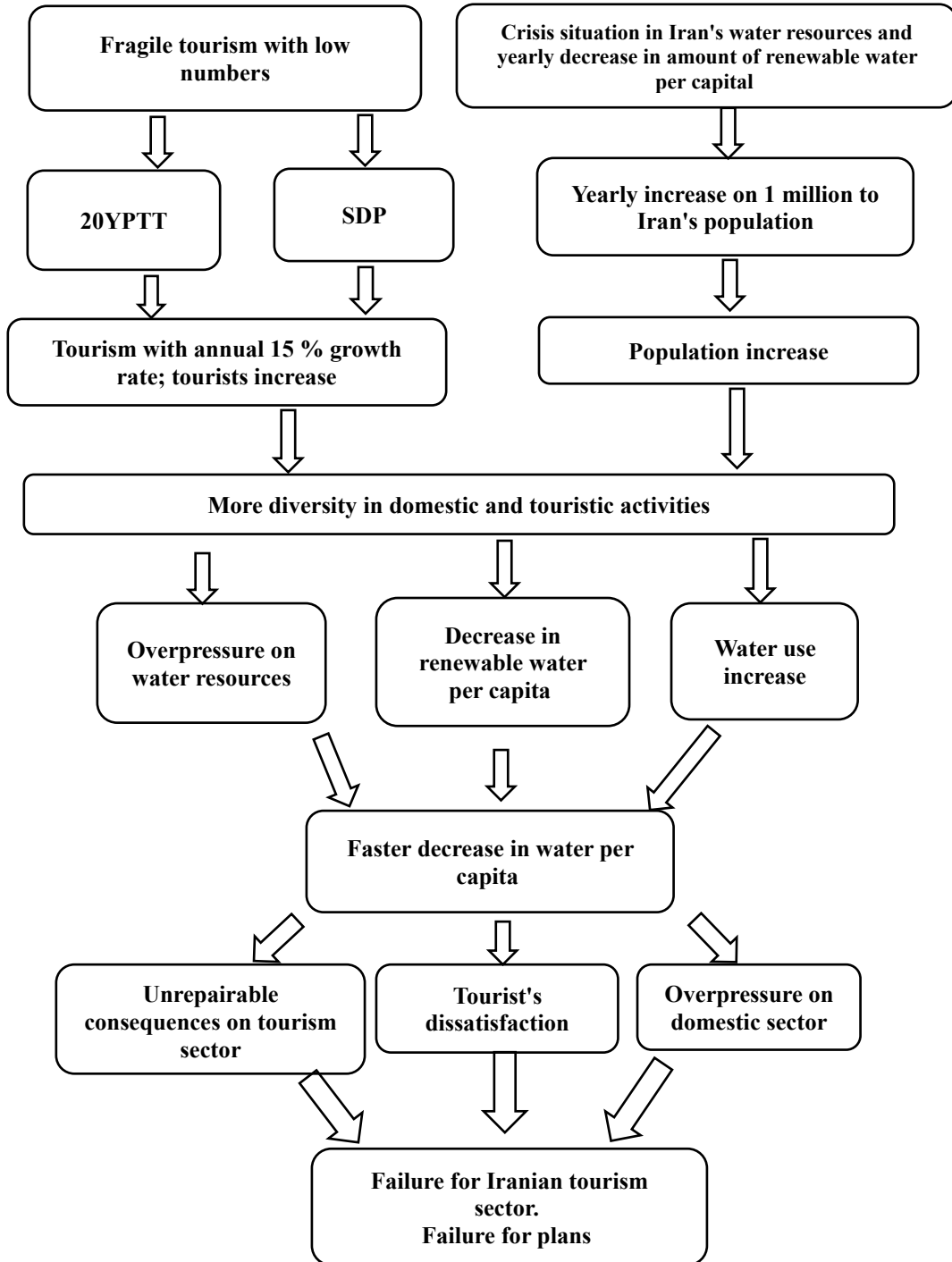


Fig. 3. Conceptual Model of the consequences of unplanned water management in Iran's Tourism 2016-2025 (Source: Study findings)

sible and reuse water for secondary purposes, measuring water use amount, installing another type of pipeline for non-drinking purposes, decreasing the

share of agriculture of total renewable water to the global average (from 92% to 70%), regular educational programs for tourists and local residents in

order to reform the water use approach, making tourists aware of the water situation in Iran and guiding them toward more carefully use, especially in destinations with water shortage, making encouraging and rewarding policies for using less water and taking water purification and reuse tools, can

certainly help both domestic and tourism sectors to use less water and face less problems.

Using the experience of researching this issue on the example of Iran, where they are clearly expressed, the authors plan to consider these issues on the example of not only Ukraine, but also other countries of the former Soviet Union in the future.

### Bibliography

1. Barberán, R. Evaluation of water saving measures in hotels: a Spanish case study / R. Barberán, P. Egea, M. Gracia-de-Rentería, M. Salvador // *International Journal of Hospitality Management*. – 2013. – V. 34. – P. 181–191. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.02.005>
2. Becken, S. Water Resources and Industry, Water equity – Contrasting tourism water use with that of the local community / S. Becken // *Journal of Water Resources and Industry*. – 2014. – Volumes 7–8. – P. 9–22. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.09.002>
3. Behrouz, A. Assessing weaknesses, strength, opportunities and threats in Iran's tourism regarding its effects on GDP and employment / A. Behrouz // *National e-Conference on future prospectives of Iranian Economy*. – December, 2013 [Persian]. – Available at: <http://conference.khuisf.ac.ir/Dorsapax/userfiles/file/pazhohesh/eghtesad%2092/NCFPIE101.pdf>
4. Black, M. The atlas of water: mapping the world's most critical resource. / M. Black, J. King, R. Clarke. Earthscan – 2009.
5. Bohdanowicz, P. Environmental awareness and initiatives in the Swedish and Polish hotel industries – survey results. / P. Bohdanowicz // *International Journal of Hospitality Management*. – 2006. – 25(4). – P. 662–682. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2005.06.006>
6. Boustani, A., Ansari, H. Analyzing water use approach in city water management / A. Boustani, H. Ansari // *Seasonal journal of agricultural engineering and natural resources*. – 2012. – 9<sup>th</sup> year. – issue 33. – P. 48–52 [Persian]
7. Cazarro, I. The water footprint of tourism in Spain / I. Cazarro, A.Y. Hoekstra, C.J. Sánchez // *Tourism Management*. – 2014. – 40. – P. 90–101. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.05.010>
8. Chen, X. A benchmarking model for household water consumption based on Adaptive Logic Networks / X. Chen, S. H. Yang, L. Yang, X. Chen // *Procedia Engineering*. – 2015. – 119. – P. 1391–1398. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.998>
9. Cole, S. A Political Ecology of Water Equity and Tourism. A Case Study from Bali / S. Cole // *Ann. Tour. Res.* – 2012. – 39 (2). – P. 1221–1241. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.01.003>
10. Clemente Di, E. Water Tourism: A New Strategy for the Sustainable Management of Water-Based Ecosystems and Landscapes in Extremadura (Spain) / E. Di Clemente, J.M. H-Mogollón, A.M. C-Cerro // *Journal of Land*. – 2019. – 8, 2. – Available at: <https://doi.org/10.3390/land8010002>
11. Dieke, P.U. The political economy of tourism in The Gambia / P.U. Dieke // *Review of African Political Economy*. – 1994. – 21(62). – P. 611–626. – Available at: <https://doi.org/10.1080/03056249408704091>
12. Elliott, J. *Tourism politics and public sector management*, London routledge: 4) *Environmental, Health and Safety Guidelines for Tourism and Hospitality Development*, 2007. World Bank Group, international finance corporation, page 4. – 1997. – Available at: [https://www.amazon.com/s?ie=UTF8&field-keywords=tr%2C J. \(1997](https://www.amazon.com/s?ie=UTF8&field-keywords=tr%2C J. (1997)
13. Medstat II: 'Water and tourism' pilot study. – Eurostat. European Commission. – 2009. – Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-78-09-699/EN/KS-78-09-699-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-78-09-699/EN/KS-78-09-699-EN.PDF)
14. Fereshtepour, M. Geopolitical Challenges of Transboundary Ground Water Resources Governance; With Emphasis on Iran / M. Fereshtepour, B. Roghani, H. Mianabadi // *International quality of geopolitics*. – 2015. – Volume 11, Issue 39, Summer 2016. – Page 170–20419 [Persian]. – Available at: [http://journal.iag.ir/article\\_55826\\_en.html](http://journal.iag.ir/article_55826_en.html)
15. Gates, L.P. Strategic planning with critical success factors and future scenarios: An integrated strategic planning framework (No. CMU/SEI-2010-TR-037). CARNEGIE MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST., 2010. – Available at: <https://doi.org/10.21236/ada532574>
16. Girard, T. C., & Gartner, W. C. Second home second view: Host community perceptions / T. C. Girard, W. C. Gartner // *Annals of Tourism Research*. – 1993. – 20(4). – P. 685–700 – Available at: [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(93\)90091-G](https://doi.org/10.1016/0160-7383(93)90091-G)
17. Gorjian, S. Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran. / S. Gorjian & B. Ghobadian, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – 48. – P. 571–584. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.009>
18. Gössling, S. The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island: Zanzibar, Tanzania / S. Gössling, *Journal of Environmental Management*. – 2001. – 61(2). – P. 179–191. – Available at: <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0403>
19. Gössling, S. Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. / S. Gössling, P. Peeters, C.M. Hall, J.P. Ceron, G. Dubois, D. Scott // *Tourism Management*. – 2012. – 33(1). – 1–15 – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.015>

20. Grey, D. Sink or Swim? Water security for growth and development / D. Grey, C.W. Sadoff // *Journal of Water Policy*. – 2007. – 9. – P. 545-571. – Available at: <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
21. Hadjikakou, M. A comprehensive framework for comparing water use intensity across different tourist types / M. Hadjikakou, G. Miller, J. Chenoweth, A. Druckman, C. Zoumides // *Journal of Sustainable Tourism*. – 2015. – Volume 23, Issue 10. – Available at: <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1044753>.
22. Heiydari, A. Analysis the Spatial Changes of Urban Environment in the Mashhad Metropolis Using the Natural Step Future Study / A. Heiydari, Akbar; M.R. Rahnama // *Approach, geography and sustainability of environment journal*. – 2016. – Volume 6, Issue 18, Spring 2016 – Page 1-19 [Persian]. – Available at: [http://ges.razi.ac.ir/article\\_552\\_en.html](http://ges.razi.ac.ir/article_552_en.html)
23. Haynes W. Tukey's Test / W. Haynes // Dubitzky W., Wolkenhauer O., Cho KH., Yokota H. (eds) *Encyclopedia of Systems Biology*. – New York, NY: Springer, 2013. – Available at: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7\\_1212](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1212)
24. Official web-site of the Ministry of Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts (MHTO). – Available at: <https://www.mcth.ir/english>
25. Jimenez, B.S. Recession Strategic Planning and the Fiscal Performance of City Governments during the Great / B.S. Jimenez // *Journal of The American Review of Public Administration*. – 2012. – Vol. 43, NO 5. – PP. 581–601. <https://doi.org/10.1177/0275074012451051>
26. Kaberger, T. Making transport systems sustainable / T. Kaberger // *Journal of Cleaner Production*. – 2002. – 10 (4). – pp. 45-56. – Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00052-X)
27. Kalantari, Ali. (Minister of Environment of I.R.Iran). interview. – *Abadgaran's message*. – 1394 – No. 334. – Shah-rivar19 [Persian]
28. Kuuder, C. J. W. Energy, water and waste management in the accommodation sector of Tamale Metropolis, Ghana. / C. J. W. Kuuder, E.Bagson, V. M. Prempeh, A. Mumuni, R. Adongo, E. E. Amoako, // *American journal of tourism management*. – 2013. – 2 (A). – P. 1-9. – Available at: <https://doi.org/10.5923/s.tourism.201304.01>
29. Lea, J. *Tourism and development in the Third World* / J. Lea. – London: Routledge, 2006. – Available at: <https://doi.org/10.1177/030913259001400113>
30. Official web site of the International Monetary Fund. – Available at: <https://imf.org>
31. Official web site of the Millennium project. – Available at: [https://millenniumproject.org/millennium/Global\\_Challenges/chall-02.html](https://millenniumproject.org/millennium/Global_Challenges/chall-02.html)
32. Lundie, S. Environmental-economic measures of tourism yield / S. Lundie, L. Dwyer, P. Forsyth // *Journal of Sustainable Tourism*. – 2007. – 15(5). – P. 503-519. – Available at: <https://doi.org/10.2167/JOST713.0>
33. Mohammadi, B. Annual rainfall analysis of Iran / B. Mohammadi // *Journal of Geography and Environmental Planning*. – 2000. – 22. Number 43. – P. 95-1019 [Persian] [http://gep.ui.ac.ir/volume\\_3472.html](http://gep.ui.ac.ir/volume_3472.html)
34. Mokhtari H. (1391). Hydropolectic Iran. Geography of the water crisis up to 1404 / H. Mokhtari // *Geopolitical Quarterly*. – Year ninth No. 31. – 49-8319 [Persian]. – Available at: [http://journal.iag.ir/article\\_56017.html](http://journal.iag.ir/article_56017.html)
35. Naserabadi, A. Environmental Evidence of Water Crisis in Iran and Some Strategies / A. Naserabadi // *Quarterly Journal of Social Cultural Strategy*. – 1394. – No. 15. – 65-8519 [Persian]. – Available at: <http://rahbordfarhangi.csr.ir/>
36. Official web site of the National Water & Waste Water, Engineering Company of Iran. – Available at: <https://www.nww.ir>
37. Padli, Z.A.J. Factors Affecting Water Demand: Macro Evidence in Malaysia / Z.A.J. Padli, N.K.A. Rashid, R.M. Alipiah, H. Musa // *Jurnal Ekonomi Malaysia*. – 2015. – 53(1). – P. 17–25. – Available at: <http://doi.org/10.17576/JEM-2019-5301-2>
38. Page, S. J. Tourist attitudes towards water use in the developing world: A comparative analysis. / S. J. Page, S. Essex, S. Causevic // *Tourism Management Perspectives*. – 2014. – 10. – P. 57-67. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2014.01.004>
39. Qardashi, A.A. Study of Urban Water Consumption Pattern from the Viewpoint of Cultural Ecology (Case of Tyskerkan) / A. A. Qardashi, Ali Asghar // *Anthropology Journal*. – 2009. – Seventh year No. 11. – 65-104. [Persian]. – Available at: <https://ijar.ut.ac.ir/>
40. Rahnama, M. R. Scenario writing in urban and regional studies (Concepts, methods, and experiences) / M. R. Rahnama, A. Ma'rufi // *Research Center of Mashhad Islamic Council*. – 2015. – 1<sup>st</sup> Ed. [Persian]
41. Reitano, R. Water harvesting and water collection systems in Mediterranean area. The case of Malta. / R. Reitano // *Procedia Engineering*. – 2011. – 21. – P. 81-88.
42. Sorensson, A. An importance-performance analysis of sustainable tourism: A comparison between international and national tourists / A. Sorensson, Y. von Friedrichs, // *Journal of Destination Marketing & Management*. – 2013. – 2(1). – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2012.11.002>
43. Sun, Y. The economic, carbon emission, and water impacts of Chinese visitors to Taiwan: Eco-efficiency and impact evaluation / Y. Sun, S. Pratt // *Journal of Travel Research* – 2014. – Available at: <https://doi.org/10.1177/0047287513517420>
44. Sunlu, U. (2003). Environmental impacts of tourism / U. Sunlu // *In Conference on the Relationships between Global Trades and Local Resources in the Mediterranean Region*. – 2003. – Available at: <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=4001977>

45. Tapper, R., Hadjikakou, M., Noble, R., & Jenkinson, J. *The impact of the tourism industry on freshwater resources in countries in the Caribbean, Mediterranean, North Africa and other regions* / R. Tapper, M. Hadjikakou, R. Noble, J. Jenkinson, – *Tourism Concern and the Environment Business and Development Group, London, UK, research project for the Travel Foundation, see: The global water crisis, facing the facts: the water crisis.* – 2011. – Available at: <https://water.org>
46. Tian, M. *Evaluation of tourism water capacity in agricultural heritage sites.* / M. Tian, Q. Min, F. Lun, Z. Yuan, A. M. Fuller, L. Yang, ... & J. Zhou // *Sustainability.* – 2015. – 7(11). – pp. 15548-15569. – Available at: <https://doi.org/10.3390/su71115548>
47. Tortella, B.D. *Hotel water consumption at a seasonal mass tourist destination: the case of the island of Mallorca* / B.D. Tortella, D. Tirado // *Journal of Environmental Management.* – 2011. – 92. – P. 2568–2579. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.024>
48. Wack, P. *Scenarios: uncharted waters ahead* / P. Wack // *Harvard business review.* – 1985. – Available at: <https://hbr.org/1985/09/scenarios-uncharted-waters-ahead>
49. Wells, V. K. *The role of generativity and attitudes on employees home and workplace water and energy saving behaviours.* / V. K. Wells, B. Taheri, D. Gregory-Smith, & D. Manika // *Tourism Management.* – 2016. – 56. – P. 63-74.
50. Yan-bin, M. A. O. *Community Participation: An Approach of Tourism Sustainable Development* / M. A. O. Yan-bin // *Economic Research Guide.* – 2008. – 10. – 079. – Available at: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JJYD200810079.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JJYD200810079.htm)
51. Zhang, J. *Weighing and realizing the environmental, economic and social goals of tourism development using an analytic network process-goal programming approach* / J. Zhang // *Journal of Cleaner Production.* – 2016. – 127. – P. 262-273. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.131>
52. Zhang, X. *Effect of the tap water supply system on China's economy and energy consumption, and its emissions' impact.* / X. Zhang, Y. Qi, Y. Wang, J. Wu, L. Lin, H. Peng & Y. Zhang // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2016. – 64. – P. 660-671 – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.067>
53. Niemets K. *Bahatovymirnyi analiz u suspilnii heohrafiu (netradytsiini metody) [Multidimensional analysis in social geography (non-traditional methods)].* Monography / K. Niemets, K. Sehida, L. Niemets. – Kharkiv, 2016. – 120 p.
54. Niemets K. *Some Issues of the Formation and Implementation of the Development Strategies of Ukraine's Regions Taking into Account European Experience* / K. Niemets, K. Sehida, L. Niemets, O. Krainyukov, I. Telebienieva, P. Kobylin // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)* / Editor Khalid S. Soliman. – Seville: International Business Information Management Association (IBIMA), 2018. – P. 314-327.
55. Niemets L. *Rural Tourism in Ukraine: Peculiarities and Trends of Development* / L. Niemets, K. Sehida, M. Lohvinova, O. Krainyukov, L. Kliuchko // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)* / Editor Khalid S. Soliman. – Seville: International Business Information Management Association (IBIMA), 2018. – P. 290-302.
56. Nemets L. *Underground water as factor of sustainable regional development* / L. Nemets // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology, Geography, Ecology.* – 2016. – Issue 45. – P. 62-66. – Available at: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8182>
57. Kostrikov S. *Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region)* / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida, K. Niemets, C. Morar // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology, Geography, Ecology.* – 2018. – Issue 49. – P. 137-160. – Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
58. Torres-Bagur, M. *Incentives and Barriers to Water-Saving Measures in Hotels in the Mediterranean: A Case Study of the Muga River Basin (Girona, Spain)* / M. Torres-Bagur, A. Ribas, J. Vila-Subirós // *Sustainability.* – 2019. – 11(13) – P. 1-16. – Available at: <https://doi.org/10.3390/su11133583>
59. Torres-Bagur, M. *"Perceptions of climate change and water availability in the Mediterranean tourist sector: A case study of the Muga River basin (Girona, Spain)* / M. Torres-Bagur, A. Ribas, J. Vila-Subirós, *International Journal of Climate Change Strategies and Management.* – 2019. – Issue 11, vol. 4. – PP. 552-569. – Available at: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-10-2018-0070>
60. Niemets L. *Research of brownfields and greyfields of the city: theory and practice* / L. Niemets, N. Husieva, O. Suptelo, K. Sehida, K. Kravchenko // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA). 15-16 November 2018.* – P. 409-436
61. Niemets L. *Industrial heritage as a composition of post-industrial city (basic case Kharkov, Ukraine)* / L. Niemets, O. Suptelo, M. Lohvinova, K. Sehida, I. Telebienieva // *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) 10-11 April 2019.* – P. 3049-3064.
62. Niemets L. *Post-industrial development of the city of Kharkiv (Ukraine): backgrounds and realities* / L. Niemets, O. Suptelo, M. Lohvynova, K. Sehida, L. Kliuchko // *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA). 13-14 November, 2019, Madrid, Spain.* – P. 500-508.
63. Morar C. *Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania* / C. Morar, M. Dulca, G. Nagy // *Journal of Urban and Regional Analysis.* – 2016. – Vol. 8, (1). – P. 75 – 84. – Available at: [http://www.jurareview.ro/chapters/get\\_chapter/88](http://www.jurareview.ro/chapters/get_chapter/88)

64. Vujičić D. M. *A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabitate?)* / Vujičić D. M., Vasiljević D. A., Hose T.A., Tasić N., Morar C., Đurić A., Marković S. B. // *Open Geosciences*, Vol. 10, Issue 1. – Available at: <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0026>
65. Kostrikov S. *Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine)* / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida, K. Niemets, C. Morar // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2018. – Issue 49. – P. 107-124. – Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
66. Niemets L. *Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine)* / L. Niemets, K. Mezentssev, C. Morar, K. Sehida, N. Husieva, V. Peresadko // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2018. – Issue 49. – P. 137-159. – Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
67. Morar C. *Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania* / C. Morar, G. Nagy, D. Mircea, B. Lajos, K. Sehida // *ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies – Series Historia et Sociologia*. – 2019. – 2/2019. – P. 303-322
68. Uglješa S. *Shared Aerial Drone Videos — Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research* / S. Uglješa, Đ. A. Vasiljević, V. Jovanović, M. Kranjac, M.D. Vujičić, C. Morar, L. Bucur // *Open Geosciences*. – 2019. – 11. – P. 462–470. – Available at: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0037>
69. Lukić, T. *Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian Basin – preliminary results* / T. Lukić, A. Lukić, B. Basarin, T. Micić, D. Pavić, M. Mesaroš, S.B. Marković, M. Milanović, M. B. Gavrilov, Đ. A. Vasiljević, M.D. Vujičić, C. Morar, D. Sakulski, Z. Dubovina, T. Bartošek // *Open Geosciences*. – 2019. – 11. – P. 664–681. – Available at: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0053>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

UDC 338.484:502.15:556-022.252](55)

**Ebrahim Sharifzadeh Aghdam,**

PhD student of Department of Geography – Urban Planning, Ferdowsi University of Mashhad, Iran,  
Azadi Square, Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran, 9177948974,  
e-mail: [eb.sharifzadehaghdam@mail.um.ac.ir](mailto:eb.sharifzadehaghdam@mail.um.ac.ir); <http://orcid.org/0000-0002-3679-8013>;

**Arastou Kheirollahi,**

Ms. Geography – Tourism Planning, University of Zanjan, Iran  
University Blvd., Zanjan, I. R. Iran, 45371-38791,  
e-mail: [arastoukh1989@gmail.com](mailto:arastoukh1989@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0831-017X>;

**Liudmyla Niemets,**

Doctor of Science (Geography), Professor,  
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University, Ukraine,  
4 Svobody Sq., City of Kharkiv, Ukraine, 61022,  
e-mail: [ludmila.niemets@karazin.ua](mailto:ludmila.niemets@karazin.ua); <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>

## PERSPECTIVES OF THE TOURISM DEVELOPMENT IN TERMS OF WATER CRISIS (CASE STUDY OF IRAN)

**The objectives of this paper** are to clarify how valuable natural resources associated with tourism industry are; to assess efficiency of the relation between water resources and sustainable development of tourism industry; to promote ecofriendly skills of visitors in order to have an interactive relationship with tourism assets; to maximize economic, social and environmental benefits for both local communities and tourists; to find out the value of Iran's experience with tourism development with conservation of natural resources for other countries, in particular for Ukraine.

**Methodology.** The research used statistical methods (based on the goals declared in the 20YPPT & SDP plans, Iranian population forecasts, the number of international and domestic tourists in the country is determined before 2025, the amount of water needed for the tourism sector is calculated according to statistics, the amount of available water per capita is calculated and its rate of decline is specified, the volume of water for the domestic sector and necessary for tourists is determined), the study of documents and interviews with experts within Delphi regarding the method of systematic sampling.

**Results.** The authors calculated the predicted values of the influx of foreign and domestic tourists for the period of 2016-2025 based on goals declared in 20YPPT & SDP plans, Iranian population forecasts. Therefore, 7.8 million foreign and 51 million domestic tourists were expected in 2016, and 27.95 million and

53.5 million, respectively in 2025. The volumes of water consumption in the tourism sector are predicted in three scenarios: water use is stable and the same with local residents; water use is twice as much as that of local residents; water use is in parallel with global demand growth rates of 4-8% per year. According to the first scenario, the share of the tourism sector in water use will increase from 6.15% to 19.5%, according to the second one – from 19.1 to 69% and according to the third one – from 7.1% to 37.1%. The first scenario is defined as optimal, the second one is identified as crisis, and the third is considered. The average amount of water required for the tourism sector, taking into account unaccounted water (from 0.53 billion cubic meters in 2016 to 1.24 billion cubic meters in 2025) was also determined.

**Scientific novelty.** In the study, based on 20YPIT and SDP plans, the volume of tourist flows in Iran was predicted, the volume of water consumption in the tourism sector in Iran was predicted in three scenarios, and a conceptual model of the consequences of unplanned water management in Iran's tourism for 2016-2025 was developed.

**Practical significance.** This study explains the nature of the impact of the tourism sector on water resources until 2025, determines the exact amount of water that tourists may need in these years, which makes it possible to make effective decisions by identifying weaknesses and opportunities.

**Keywords:** water crisis, tourism, Iran, water, water resources, 20YPTT, SDP, domestic sector.

### References

1. Barberán, R., Egea, P., Gracia-de-Rentería, M., Salvador, M., (2013), *Evaluation of water saving measures in hotels: a Spanish case study*, *International Journal of Hospitality Management*, 34, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.02.005>
2. Becken, S., (2014). *Water Resources and Industry, Water equity– Contrasting tourism water use with that of the local community*, *Journal of Water Resources and Industry*, Volumes 7–8, 9-22. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.09.002>
3. Behrouz, A., (2013). *Assessing weaknesses, strength, opportunities and threats in Iran's tourism regarding its effects on GDP and employment*. *National e-Conference on future prospectives of Iranian Economy, December, 2013* [Persian] <http://conference.khuisf.ac.ir/Dorsapax/userfiles/file/pazhoresh/eghtesad%2092/NCFPIE101.pdf>
4. Black, M., King, J., & Clarke, R. (2009). *The atlas of water: mapping the world's most critical resource*. Earthscan.
5. Bohdanowicz, P. (2006). *Environmental awareness and initiatives in the Swedish and Polish hotel industries—survey results*. *International Journal of Hospitality Management*, 25(4), 662-682. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2005.06.006>
6. Boustani, A, Ansari, H., (2012), *Analyzing water use approach in city water management, seasonal journal of agricultural engineering and natural resources*, 9<sup>th</sup> year, issue 33, 48-52 [Persian]
7. Cazcarro, I., Hoekstra, A.Y., Sánchez C.J., (2014). *The water footprint of tourism in Spain* *Tourism Management*, 40, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.05.010>
8. Chen, X., Yang, S. H., Yang, L., & Chen, X. (2015). *A benchmarking model for household water consumption based on Adaptive Logic Networks*. *Procedia Engineering*, 119, 1391-1398. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.998>
9. Cole, S. (2012). *A Political Ecology of Water Equity and Tourism. A Case Study from Bali*, *Ann. Tour. Res.* 39 (2), 1221–1241. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.01.003>
10. Di Clemente, E., H-Mogollón, J.M., C-Cerro, A.M., (2019). *Water Tourism: A New Strategy for the Sustainable Management of Water-Based Ecosystems and Landscapes in Extremadura (Spain)*, *Journal of Land*, 8, 2. <https://doi.org/10.3390/land8010002>,
11. Dieke, P. U. (1994). *The political economy of tourism in The Gambia*. *Review of African Political Economy*, 21(62), 611-626. <https://doi.org/10.1080/03056249408704091>
12. Elliott, J. (1997). *Tourism politics and public sector management*, London routledge: 4) *Environmental, Health and Safety Guidelines for Tourism and Hospitality Development*, 2007. World Bank Group, international finance corporation, 4. [https://www.amazon.com/s?ie=UTF8&field-keywords=tt%2CJ.\(1997\)](https://www.amazon.com/s?ie=UTF8&field-keywords=tt%2CJ.(1997))
13. Eurostat. (2009). *Medstat II: 'Water and tourism' pilot study*. Eurostat, European Commission. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-78-09-699/EN/KS-78-09-699-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-78-09-699/EN/KS-78-09-699-EN.PDF)
14. Fereshpour, Mohammad; Roghani, Bardia; Mianabadi, Hojjat (2015). *Geopolitical Challenges of Transboundary Ground Water Resources Governance; With Emphasis on Iran*, *international quality of geopolitics*, 11, 39. Summer 2016, 170-20419 [Persian]. [http://journal.iag.ir/article\\_55826\\_en.html](http://journal.iag.ir/article_55826_en.html)
15. Gates, L. P. (2010). *Strategic planning with critical success factors and future scenarios: An integrated strategic planning framework* (No. CMU/SEI-2010-TR-037). CARNEGIE MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST. <https://doi.org/10.21236/ada532574>
16. Girard, T. C., & Gartner, W. C. (1993). *Second home second view: Host community perceptions*. *Annals of Tourism Research*, 20(4), 685-700. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(93\)90091-G](https://doi.org/10.1016/0160-7383(93)90091-G)
17. Gorjian, S., & Ghobadian, B. (2015). *Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 571-584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.009>
18. Gössling, S. (2001). *The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island: Zanzibar, Tanzania*. *Journal of Environmental Management*, 61(2), 179-191. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0403>

19. Gössling, S., Peeters, P., Hall, C.M., Ceron, J.P., Dubois, G., Scott, D., (2012), *Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. Tourism Management*, 33(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.015>
20. Grey, D., Sadoff, C.W., (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Journal of Water Policy*, 9, 545-571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
21. Hadjikakou, M., Miller, G., Chenoweth, J., Druckman, A. & Zoumides, C. (2015). A comprehensive framework for comparing water use intensity across different tourist types. *Journal of Sustainable Tourism*. <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1044753>.
22. Heiydari, Akbar; Rahnama, Mohammad Rahim (2016). Analysis the Spatial Changes of Urban Environment in the Mashhad Metropolis Using the Natural Step Future Study Approach, geography and sustainability of environment journal, 6, 18, Spring 2016, 1-19 [Persian]. [http://ges.razi.ac.ir/article\\_552\\_en.html](http://ges.razi.ac.ir/article_552_en.html)
23. Haynes W. Tukey's Test. In: Dubitzky W., Wolkenhauer O., Cho KH., Yokota H. (eds) (2013) *Encyclopedia of Systems Biology*. New York, NY, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7\\_1212](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1212)
24. Official web-site of the Ministry of Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts (MHTO). <https://www.mcth.ir/english>
25. Jimenez, Benedict S. (2012). Recession Strategic Planning and the Fiscal Performance of City Governments during the Great. *Journal of The American Review of Public Administration*, 43, 5, 581–601. <https://doi.org/10.1177/0275074012451051>
26. Kaberger, T. (2002). Making transport systems sustainable, *Journal of Cleaner Production*, 10 (4), 45- 56. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00052-X)
27. Kalantari, Ali. (Minister of Environment of I.R. Iran) (1394). interview. *Abadgaran's message*, 334, Shahrivar 19 [Persian].
28. Kuuder, C. J. W., Bagson, E., Prempeh, V. M., Mumuni, A., Adongo, R., & Amoako, E. E. (2013). Energy, water and waste management in the accommodation sector of Tamale Metropolis, Ghana. *American journal of tourism management*, 2(A), 1-9. <https://doi.org/10.5923/s.tourism.201304.01>
29. Lea, J. (2006). *Tourism and development in the Third World*. Rutledge. <https://doi.org/10.1177/030913259001400113>
30. Official web site of the International Monetary Fund. [www.imf.org](http://www.imf.org)
31. Official web site of the Millennium project. [www.millenniumproject.org/millennium/Global\\_Challenges/chall-02.html](http://www.millenniumproject.org/millennium/Global_Challenges/chall-02.html)
32. Lundie, S., Dwyer, L., Forsyth, P., (2007). Environmental-economic measures of tourism yield. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(5): 503-519 [https://www.academia.edu/20676019/EnvironmentalEconomic\\_Measures\\_of\\_Tourism\\_Yield](https://www.academia.edu/20676019/EnvironmentalEconomic_Measures_of_Tourism_Yield)
33. Mohammadi, B. (2000). Annual rainfall analysis of Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*. 22, 43: 95-1019 [Persian] [http://gcp.ui.ac.ir/volume\\_3472.html](http://gcp.ui.ac.ir/volume_3472.html)
34. Mokhtari Hashi, h. (1391). *Hydropolectic Iran. Geography of the water crisis up to 1404. Geopolitical Quarterly. Year ninth* 31: 49-8319 [Persian] [http://journal.iag.ir/article\\_56017.html](http://journal.iag.ir/article_56017.html)
35. Naserabadi, A. (1394). Environmental Evidence of Water Crisis in Iran and Some Strategies. *Quarterly Journal of Social Cultural Strategy*. 15: 65-8519 [Persian] <http://rahbordfarhangi.csr.ir/>
36. NWWEC. (2016), *National Water & Waste Water, Engineering Company of Iran* <https://www.nww.ir>
37. Padli, Z.A.J., Rashid, N.K.A., Alipiah, R.M., Musa, H., (2015) Factors Affecting Water Demand: Macro Evidence in Malaysia, *Jurnal Ekonomi Malaysia* 53(1): 17–25 [http://www.ukm.my/fep/jem/pdf/2019-53\(1\)/jeko\\_53\(1\)-2.pdf](http://www.ukm.my/fep/jem/pdf/2019-53(1)/jeko_53(1)-2.pdf)
38. Page, S. J., Essex, S., & Causevic, S. (2014). Tourist attitudes towards water use in the developing world: A comparative analysis. *Tourism Management Perspectives*, 10, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2014.01.004>
39. Qardashi, Ali Asghar. (2009). Study of Urban Water Consumption Pattern from the Viewpoint of Cultural Ecology (Case of Tyskerkan). *Anthropology Journal. Seventh year* 11: 65-104. [Persian] <https://ijar.ut.ac.ir/>
40. Rahnama, M. R. & Ma'rufi, A. (2015). Scenario writing in urban and regional studies (Concepts, methods, and experiences). *Research Center of Mashhad Islamic Council*, 1<sup>st</sup> Ed. [Persian]
41. Reitano, R. (2011). Water harvesting and water collection systems in Mediterranean area. *The case of Malta. Procedia Engineering*, 21, 81-88.
42. Sorensson, A., & von Friedrichs, Y. (2013). An importance–performance analysis of sustainable tourism: A comparison between international and national tourists. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2(1), <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2012.11.002>
43. Sun, Y., Pratt, S. (2014a). The economic, carbon emission, and water impacts of Chinese visitors to Taiwan: Eco-efficiency and impact evaluation. *Journal of Travel Research*. <https://doi.org/10.1177/0047287513517420>
44. Sunlu, U. (2003). Environmental impacts of tourism. In *Conference on the Relationships between Global Trades and Local Resources in the Mediterranean Region*. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=4001977>
45. Tapper, R., Hadjikakou, M., Noble, R., & Jenkinson, J. (2011). The impact of the tourism industry on freshwater resources in countries in the Caribbean, Mediterranean, North Africa and other regions. *Tourism Concern and the Environment Business and Development Group*, London, UK, research project for the Travel Foundation, see: *The global water crisis, facing the facts: the water crisis*. [www.water.org](http://www.water.org)
46. Tian, M., Min, Q., Lun, F., Yuan, Z., Fuller, A. M., Yang, L., ... & Zhou, J. (2015). Evaluation of tourism water capacity in agricultural heritage sites. *Sustainability*, 7(11), 15548-15569. <https://doi.org/10.3390/su71115548>



47. Tortella, B.D., Tirado, D., (2011), *Hotel water consumption at a seasonal mass tourist destination: the case of the island of Mallorca*, *Journal of Environmental Management*. 92: 2568–2579 [https://www.researchgate.net/publication/51241903\\_Hotel\\_water\\_consumption\\_at\\_a\\_seasonal\\_mass\\_tourist\\_destination\\_The\\_case\\_of\\_the\\_island\\_of\\_Mallorca](https://www.researchgate.net/publication/51241903_Hotel_water_consumption_at_a_seasonal_mass_tourist_destination_The_case_of_the_island_of_Mallorca)
48. Wack, P. (1985). *Scenarios: uncharted waters ahead*. *Harvard business review*. <https://hbr.org/1985/09/scenarios-uncharted-waters-ahead>
49. Wells, V. K., Taheri, B., Gregory-Smith, D., & Manika, D. (2016). *The role of generativity and attitudes on employees home and workplace water and energy saving behaviours*. *Tourism Management*, 56, 63-74.
50. Yan-bin, M. A. O. (2008). *Community Participation: An Approach of Tourism Sustainable Development [J]*. *Economic Research Guide*, 10, 079. [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JJYD200810079.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JJYD200810079.htm)
51. Zhang, J. (2016). *Weighing and realizing the environmental, economic and social goals of tourism development using an analytic network process-goal programming approach*. *Journal of Cleaner Production*, 127, 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.131>
52. Zhang, X., Qi, Y., Wang, Y., Wu, J., Lin, L., Peng, H., & Zhang, Y. (2016). *Effect of the tap water supply system on China's economy and energy consumption, and its emissions' impact*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 660-671 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.067>
53. Niemets K., Sehida K., Niemets L. (2016). *Bahatovymirnyi analiz u suspilnii heohrafii (netradytsiini metody) [Multidimensional analysis in social geography (non-traditional methods)]*. Monography. 120 [in Ukrainian].
54. Niemets K., Sehida K., Niemets L., Krainyukov O., Telebienieva I., Kobylina P. (2018). *Some Issues of the Formation and Implementation of the Development Strategies of Ukraine's Regions Taking into Account European Experience*. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)*, Editor Khalid S. Soliman. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 314-327.
55. Niemets L., Sehida K., Lohvinova M., Krainyukov O., Kliuchko L. (2018). *Rural Tourism in Ukraine: Peculiarities and Trends of Development*. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)*, Editor Khalid S. Soliman. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 290-302.
56. Niemets L. (2016). *Underground water as factor of sustainable regional development*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology, Geography, Ecology*, 45, 62-66 [in Ukrainian] <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8182>
57. Kostrikov S., Niemets L., Sehida K., Niemets K., Morar Cezar (2018) *Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region)*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology, Geography, Ecology*, 49, 137-160. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
58. TORRES-BAGUR, Maria; RIBAS, Anna; VILA-SUBIRÓS, Josep (2019). *Incentives and Barriers to Water-Saving Measures in Hotels in the Mediterranean: A Case Study of the Muga River Basin (Girona, Spain)*. *Sustainability*, 11 (13), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su11133583>
59. TORRES-BAGUR, Maria; RIBAS, Anna; VILA-SUBIRÓS, Josep (2019), *"Perceptions of climate change and water availability in the Mediterranean tourist sector: A case study of the Muga River basin (Girona, Spain)"*, *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11, 4, 552-569. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-10-2018-0070>
60. Niemets L., Husieva N., Suptelo O., Sehida K., Kravchenko K., L. Niemets (2018). *Research of brownfields and greyfields of the city: theory and practice*. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)*, Editor Khalid S. Soliman. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 409-436.
61. Niemets L., Suptelo O., Lohvinova M., Sehida K., Telebienieva I. (2019). *Industrial heritage as a composition of post-industrial city (basic case Kharkov, Ukraine)*. *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)*, 10-11 April 2019, 3049-3064.
62. Niemets L., Suptelo O., Lohvynova M., Sehida K., Kliuchko L. (2019). *Post-industrial development of the city of Kharkiv (Ukraine): backgrounds and realities*. *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)*, 13-14 November, 2019, Madrid, Spain.
63. Morar C., Dulca M., Nagy G. (2016). *Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania*, *Journal of Urban and Regional Analysis*, 8, (1)
64. Vujičić D. M., Vasiljević D. A., Hose T.A., Tasić N., Morar C., Đurić A., Marković S. B., (2018), *A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabit?)*, in *Open Geosciences*, 10, 1. <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0026>
65. Kostrikov S., Niemets L., Sehida K., Niemets K., Morar C., (2018), *Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine)*, in *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 107-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
66. Niemets L., Mezentssev K., Morar C., Sehida K., Husieva N., Peresadko V., (2018), *Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine)*, in *Visnyk of*

V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 49, 137-159.  
<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>

67. Morar C., Gyula Nagy Mircea Dulca, Lajos Boros and Kateryna Sehida (2019). Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania, in *ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies – Series Historia et Sociologia*, 2/2019.
68. Uglješa S., Vasiljević Đ. A., Jovanović V., Kranjac M., Vujičić M.D., Morar C., Bucur L., (2019), Shared Aerial Drone Videos — Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research, *Open Geosciences* 2019, 11, 462–470. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0037>
69. Lukić, T., Lukić, A., Basarin, B., Micić, T., Pavić, D., Mesaroš, M., Marković, S.B., Milanović, M., Gavrilov, M. B., Vasiljević, Đ. A., Vujičić, M.D., Morar, C., Sakulski, D., Dubovina, Z., Bartošek, T., (2019), Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian Basin – preliminary results. *Open Geosciences*, 11, 664–681. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0053>

# ЕКОЛОГІЯ

УДК 204.7;Д01 10.30970

**Олег Максимович Адаменко,**

д. г.-м. н., професор кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна,  
e-mail: [yarad1964@gmail.com](mailto:yarad1964@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0821-3011>;

**Микола Іванович Мосюк,**

к. тех. н., доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
e-mail: [mosiuk@ukr.net](mailto:mosiuk@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0002-9828-7331>;

**Денис Олексійович Зорін,**

к. геол. н., доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
e-mail: [denolzor@gmail.com](mailto:denolzor@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3519-8171>

## СТАН ДОВКІЛЛЯ ТЕРИТОРІЇ ДНІСТРОВСЬКОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ

Дністровський регіональний ландшафтний парк (РЛП) в ряду категорій природно-заповідного фонду України займає (знизу) третє місце. Найнижче: - перше-це пам'ятки природи, вище, - заказники, далі – РЛП, над ними національні природні парки, природні заповідники і найвища категорія заповідності – це біосферні заповідники та резервати. Дністровський РЛП розташований вузькою смугою на правобережжі р. Дністер та схилах Прут – Дністровського межиріччя, у Тлумачькому та Городенківському районах Івано-Франківської області. Площа 19 656 га. Стан довкілля території Дністровського РЛП розглядається на прикладі екологічної оцінки компонентів ландшафтів, на основі тих змін, які відбуваються як під впливом природних (ерозія площинна, лінійна та яркова, осипища, обвали, сели, зсуви, карст), так і техногенних (кар'єри, бурові свердловини, дорожня інфраструктура та ін.) чинників. Динаміка цих процесів розглянута на основі моніторингу стану ґрунтового покриву (педосфери), гідросфери, атмосферного повітря та рослинності (фітосфери). Мережа моніторингу включає 78 пунктів спостереження, де відбирались проби ґрунтів, поверхневих та ґрунтових вод, повітря та трав'янисто-лучної рослинності. Атомно-абсорбційний, рентгенофлюоресцентний та електрохімічний аналізи проб дозволили побудувати базу даних екологічної інформації та карти розповсюдження тих чи інших забруднювачів – арсену, свинцю, міді, цинку, кадмію, сполук сірки, нафтопродуктів. Сумісний аналіз карт дозволив побудувати карту сучасної екологічної ситуації, на якій показані також окремі елементи геологічного середовища та геоморфосфери, що впливає на формування стану довкілля. Окремі геоекологічні структури лівобережжя Дністра, де розташований національний природничий парк (НПП) «Дністровський каньйон», переходять на правий берег, в межі Дністровського РЛП, що дозволило розробити пропозиції щодо підвищення природо-охоронної категорії Дністровського РЛП до НПП та приєднання його до «Дністровського каньйону».

**Ключові слова:** регіональний ландшафтний парк, ґрунтовий покрив, гідросфера, фітосфера, екологічні зміни.

**О. М. Адаменко, М. І. Мосюк, Д. О. Зорін. СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ ДНЕСТРОВСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКА.** Днестровский региональный ландшафтный парк (РЛП) в ряду природно-заповедного фонда Украины занимает снизу третье место. Самое низкое – первое это – памятники природы, выше – заказники, далее – РЛП, над ними – НПП, природные заповедники и самая высокая категория заповедования – это биосферные заповедники и резерваты. Днестровский РЛП расположен узкой полосой по правому берегу р. Днестр, на склонах Прут - Днестровского междуречья, в Тлумачском и Городенковском районах Ивано-Франковской области. Площадь 19 656 га. Состояние окружающей среды территории Днестровского РЛП рассматривается на примере экологической оценки компонентов ландшафтов, на основании тех изменений, которые происходят как под влиянием естественных (эрозия площадная, линейная и овражная, осыпи, обвалы, сели, оползни, карст), так и техногенных (карьер, буровые скважины, дорожная инфраструктура и т.д факторов. Динамика процессов рассмотрена на основании мониторинга состояния почвенного покрова (педосферы), гидросферы, атмосферного воздуха и растительности (фитосферы). Сеть мониторинга состоит из 78 пунктов наблюдений, где отбирались пробы почв, поверхностных и почвенных вод, воздуха и травянисто-луговой растительности. Атомно-адсорбционный, рентгенофлюоресцентный и электрохимический анализы проб позволили составить базу данных экологической информации и карты распространения тех или иных загрязнителей – мышьяка, свинца, меди, цинка, кадмия, соединения серы, нефтепродуктов. Совместный анализ карт дал возможность построить карту современной экологической ситуации, на которой изображены также отдельные элементы геологической среды и геоморфосферы, которые влияют на формирование состояния окружающей среды. Отдельные геологические структуры левого берега Днестра, где расположен НПП «Днестровский каньон», переходят на правый берег, в пределы Днестровского РЛП, что позволило разработать предложение о повышении природно-охранной категории Днестровского РЛП до НПП и присоединении его к «Днестровскому каньону».

**Ключевые слова:** региональный ландшафтный парк, почвенный покров, гидросфера, фитосфера, экологические изменения.

**Постановка проблеми.** Регіональні ландшафтні парки (РЛП) – це природоохоронні реакційні території місцевого або регіонального значення, які створюються місцевими органами

влади та фінансуються із місцевих бюджетів. За даними статті Т.Л. Андрієнко, Р.Я. Арап, Н.П. Гальченко, Н.Р. Малишевої і О.І. Прядко у «Екологічній енциклопедії» [9], РЛП мають метою збереження у максимально первісному, природному стані унікальних природних комплексів – територій та об'єктів, які забезпечують також організований відпочинок туристів та місцевих жителів. РЛП створюють без вилучення земельних ділянок, водних та інших природних об'єктів у їх власників чи користувачів. РЛП охороняються підприємствами, установами, організаціями за дорученнями органів виконавчої влади у галузі охорони навколишнього середовища з оформленням документа – охоронного зобов'язання. У деяких випадках на територіях РЛП проводять зонування подібно до *НПП*. В Україні на 1.01.2015р. існувало 54 РЛП, із них у Західному регіоні України 9.

Рішенням Івано-Франківської обласної ради від 15 липня 1993р. та 9 грудня 2016 р., на підставі рішення Тлумацької та Городенківської районних рад, було створено комунальне підприємство «Дністровський регіональний ландшафтний парк імені Сергія Дідича» на площі 19650 га.

Дністровський РЛП знаходиться у Тлумацькому та Городенківському районах Івано-Франківської області (рис. 1). Згідно фізико-географічного районування України та Карпатського регіону, територія парку розташована у Тлумач-Городенківському фізико-географічному районі Прут-Дністровської області. Територія РЛП простягається смугою шириною 1-2 км по стрімких схилах ріки Дністер та на прилеглих ділянках. Під охороною – мальовничі ландшафти в районі Дністровського каньйону з цікавими об'єктами природи (скелі, водоспади, ліси, пагорби з рідкісною степовою рослинністю), а та-

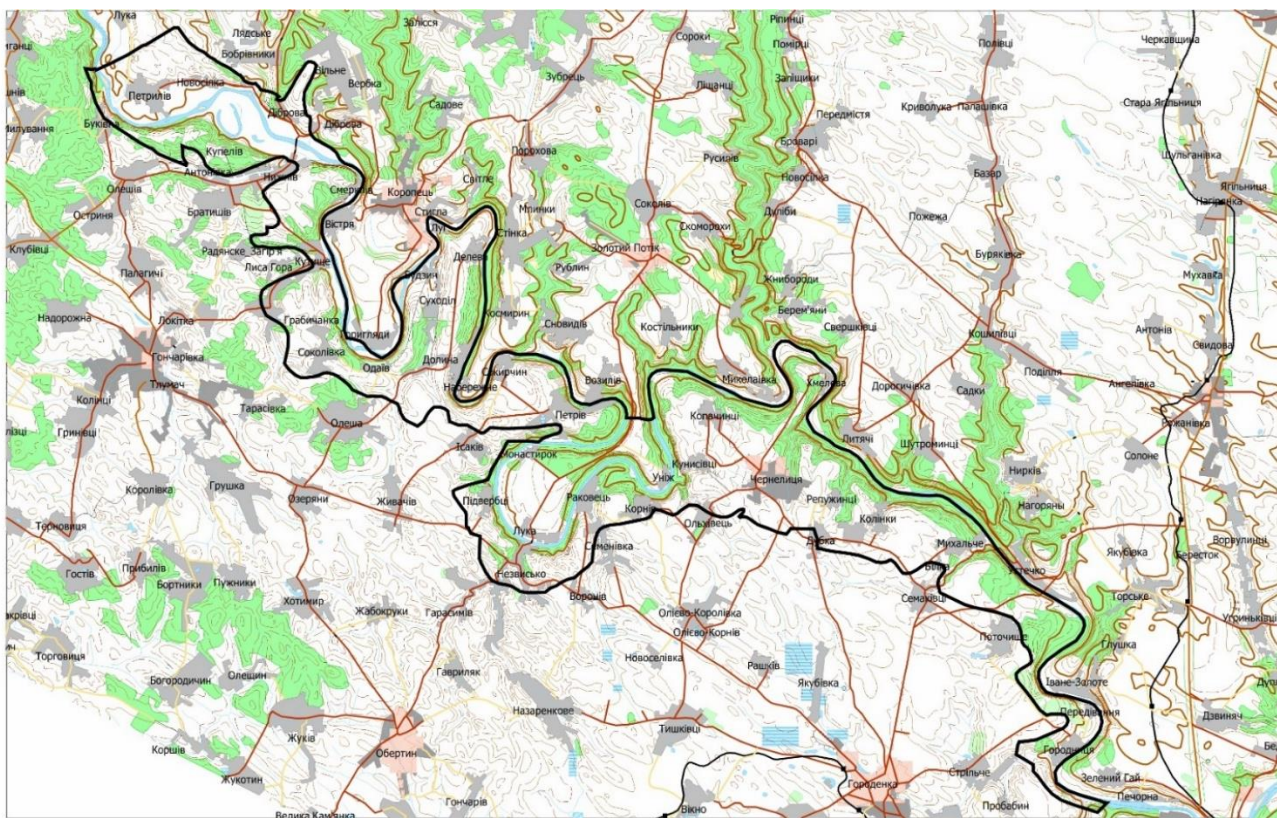


Рис. 1. Контур Дністровського регіонального ландшафтного парку

кож пам'ятки історії та архітектури.

**Історичний огляд досліджень та публікацій.** Оскільки північно-східною межею Дністровського РЛП є р. Дністер, то його долина, особливо каньйон, з давніх-давен притягували дослідників. Першим картографічним документом були Генеральна карта Поділля масштабу 1:800 000, яку представив у 1650 р. французький військовий картограф В. Боплан за польського короля Владислава IV [17]. З 1772 р. після переходу Галичини до Австро-Угорщини, майбутня

територія Дністровського РЛП кілька разів «покривалась» топографічними зніманнями масштабів 1:28 800, 1:75 000 та 1:25 000. Карти до цього часу зберігаються у Віденському військовому архіві. У 1794-1805 рр. словацький картограф Ян Ліпський склав мапу Угорщини, в тому числі і Галичини [12].

Перші опубліковані роботи належать польським геологам Ст. Сташицю (St. Staszic, 1815), ім'я якого нині носить Краківська гірничо-металургійна академія, Я. Пушу (I. Push, 1830),

Э. Эйхвальду (E. Eichwald, 1846), Н.П. Барбот-де-Марні (1867) [3, 20, 23]. Серед геологічної інформації цих авторів багато даних про стан ґрунтів, вод та рослинності.

Систематичне вивчення природи бувшої Галиції розпочалось завдяки зніманню масштабу 1:75 000, результатом чого став виданий у 1887-1907 рр. «Геологічний атлас Галичини» [2, 18]. Після першої світової війни польські дослідники В. Зих (W. Zych, 1930) та Р. Козловський (R. Kozłowski, 1929) розчленували відклади у долині Дністра на яруси та горизонти завдяки вивченню викопної фауни та флори. Дослідження Придністров'я проводили румунський геолог Г. Васкауцану (1931) та російські фахівці Р.Р. Виржиковський (1929, 1932) і Г.Ф. Лунгерсгаузен (1941) [13]. Значний внесок у вивчення терас, викопних ґрунтів, лесів та археологічних пам'яток зробив Ю.Полянський. Його «Подільські етюди» не втратили свого наукового значення дотепер [15].

Після приєднання у 1939 р. Галичини до СРСР розпочались роботи з узагальнення зібраного раніше матеріалу, що знайшло своє відображення у книзі «Геология и полезные ископаемые Западных областей УССР» (1941) за редакцією Н.А. Биховера. Після другої світової війни, починаючи з 1947 р., у Західному регіоні України розпочались різномасштабні геологічні знімання, геологопошукові та геологорозвідувальні роботи з великими обсягами сейсмічних, магнітометричних, електророзвідувальних та інших геофізичних робіт у супроводі значних обсягів буріння з глибинами від сотень до кількох тисяч м. Це дало змогу детально вивчити четвертинні відклади та геоморфологію [5-8].

У 1959-1960 рр. Г.П. Шраменко, Г.М. Падалко і П.Г. Лазаренко виконали комплексну геологічну зйомку масштабу 1:200 000 аркуша М-35-XXVI Волино-Подільської серії, яка безпосередньо стосується досліджуваної нами території [5-8, 10].

Великий обсяг природничого матеріалу зібрала експедиція Товариства Лева, яка працювала по Дністру у 90-х роках ХХ ст. Її завданням було розробити систему земле-, водо- та лісокористування на ландшафтній основі при переході до ринкової економіки. У дослідженнях брали участь німецькі колеги (Г. Плахтер та ін.) із Університетів Марбурга, Дортмунда, Франкфурта, а з українського боку – Івано-Франківський національний університет нафти і газу, Інститут екології Карпат, Львівський національний університет ім. І.Франка, Інститут екологічного моніторингу та ін. (О.М. Адаменко, І.П. Ковальчук, В.М. Стецюк, В.Г. Омельченко, О.М. Журавель, Д.О. Зорін та ін.) [1, 10, 11, 14, 16].

В останні роки у Дністровській долині працювали експедиції Львівського національного університету ім. І.Франка (А.Б. Богуцький, А.М. Яцишин), Університету Марії Кюрі-Склодовської із Любліна, Польща (М. Ланчонт), Інституту українознавства ім. І.Креп'якевича НАНУ (О.С. Ситник), Геологічного інституту Польської АН (Т. Мадейська) [4, 19, 21, 22, 24].

Екологічний стан геологічного середовища, геоморфосфери, водних ресурсів, атмосферного повітря, ґрунтового та рослинного покривів Дністровського каньйону дослідив у кандидатській дисертації Д.О. Зорін, матеріали якого частково опубліковані у його навчальному посібнику [11] та еколого-туристичному нарисі «Дністровський каньйон». Праці Д.О. Зоріна ми використовуємо в подальшому, при покомпонентній характеристиці природного середовища Дністровського регіонального ландшафтного парку.

**Актуальність досліджень та виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Раніше досліджувались стан лісів, флори і фауни, а інші компоненти довкілля, такі як педосфера, гідросфера, атмосферне повітря, залишилися поза увагою, що негативно впливало на стратегічну екологічну оцінку природно-заповідних територій, ігнорування процедур екологічного аудиту та моніторингу, зниження рівня екологічної безпеки цих важливих територій [1, 7, 11].

Отже, **метою даної статті** є більш повне висвітлення усіх компонентів навколишнього середовища та розробка методології екологічної оцінки ґрунтового та рослинного покривів, водних ресурсів, атмосферного повітря, та вплив на них техносфери.

Дослідження виконано кафедрою екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу під керівництвом О.М. Адаменка, за участю М. І. Мосюка, Д.О.Зоріна, К.О. Радловської, Н.О. Зоріної та студентів-магістрів – майбутніх екологів. Польові екологічні дослідження за моніторинговою мережею на 78 пунктах спостережень [1] виконувались з 2012 по 2019рр., а їх аналітична та комп'ютерна обробка - у 2015-2019рр. [1, 11, 16].

#### **Виклад основного матеріалу.**

**Педосфера** – ґрунтовий покрив на території Дністровського РЛП представлений глибоко і малогумусними чорноземами, часто опідзоленими, сірими і світло-сірими лісовими ґрунтами.

Переходимо до екологічної оцінки стану ґрунтового покриву на основі їх забруднення важкими металами, нафтопродуктами та іншими небезпечними речовинами. Для цього на території Дністровського РЛП була обґрунтована мере-

жа із 78 пунктів спостереження – точок відбору проб із ґрунтів та інших середовищ на атомно-абсорбційний, рентгенофлуоресцентний та електрохімічний аналізи для визначення вмісту забруднювальних речовин. На основі цих даних було побудовано базу даних, розраховані фонові та аномальні вмісти розрахунковими та графічними методами [16], а на їх основі складені поелементні та покомпонентні еколого-техногеохімічні карти розповсюдження забруднюючих речовин у ґрунтовому покриві (рис. 2).

Просторовий розподіл забруднювачів у ґрунтовому покриві на території Дністровського РЛП показав, що забруднення в цілому незначне

і прив'язане лише до окремих аномальних точок. Так, розповсюдження арсену As виявило дві аномальні зони, що знаходяться у верхів'ях р. Тлумач (точки 434, 436, 439) і на північний захід від м. Городенки (441, 442). Фон (0,0047 мг/кг) у цих аномаліях перевищено у десятки разів (до 4,6 мг/кг), але це значно нижче кларка (1,7) та у сотні разів нижче ГДК (20). Тобто нічого небезпечного немає: виявлений розподіл забруднення лише попереджає про потенційну небезпеку. Те ж саме можна сказати і про розподіл кадмію Cd, який має вмісти більше ГДК лише у одній пробі, південніше м. Тлумач. Фон Cd 0,014, кларк 0,13, ГДК 1, а аномалія – 0,042 мг/кг.

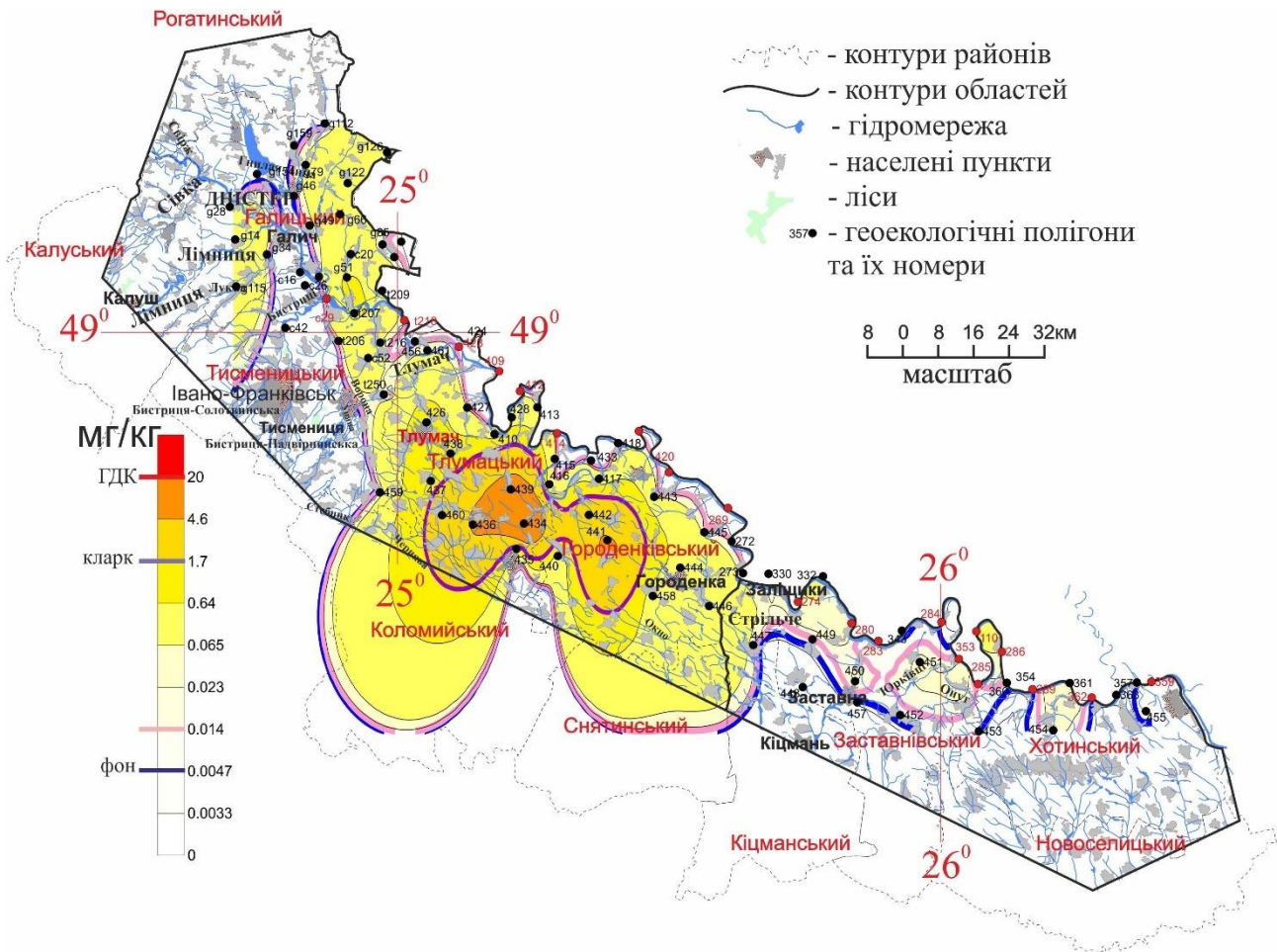


Рис. 2. Арсен As у ґрунтах Дністровського регіонального ландшафтного парку

Розподіл свинцю Pb більш складний: вздовж стінок Дністровського каньйону від с. Горигляди до м. Заліщики – чисто, аномалії Pb приурочені до Прут-Дністровського межиріччя, а саме до сс. Низвисько, Локітки та мм. Тлумач, Городенка та автомобільних доріг Івано-Франківськ-Городенка, Чернівці-Тернопіль та ін.

Такі ж особливості характерні і для інших забруднювачів Cu, Zn, V, нафтопродукти, ДДТ. Лише цинк Zn перевищує ГДК (23) та фон (13,4), але це значно нижче від аномальних (40,2) і кла-

ркових (83) значень, тому поки що немає загрози ні природі, ні населенню. Ванадій V показує такі ж тенденції. Нафтопродукти з перевищенням ГДК установлені лише вздовж дороги Тлумач-Городенка. ДДТ показує кілька аномальних точок біля районних центрів (Тлумач, Городенка), де колись були склади міндобрив та отрутохімікатів.

Отже, судячи з результуючих карт накладання ізоконцентрат та сумарних показників забруднення, загальна картина екологічного стану

ґрунтів вимальовується позитивною, не загрозовою для людей і природи.

**Гідросфера** – це поверхневі, ґрунтові та підземні води, за забезпеченістю яких Івано-Франківщина займає четверте місце серед інших областей нашої країни [9].

*Поверхневі води* формуються транзитним та внутрішнім річковим стоком, атмосферними опадами та підтоком підземних вод. Із загальної кількості опадів (724 мм/рік) понад 83% випаровується (603 мм), а 17% (121 мм) постачається у річки (68 мм) та підземний стік (53 мм).

За даних моніторингових досліджень лабораторії Івано-Франківського управління водного господарства, якість вод Дністра та його правих притоків не перевищує ГДК. Наші дослідження (проби води відбирались приблизно у тих же точках, що і ґрунту) показали, що води відносять

в основному до II та III класу, 3-4 категорії якості, згідно з методикою оцінки, затвердженою Мінекобезпеки. Характерно, що нижче гирл бокових притоків, якість вод Дністра погіршується, але досить швидко відновлюється.

*Ґрунтові води* – це перший від поверхні горизонт підземних вод. Вміщуючими породами є алювій заплав та надзаплавних терас, а також еолово-делювіальні леси, лесоподібні супіски та суглинки з лінзами пісків та щебеню. Глибина залягання від 2-3 до 10-15 м. Дебіти до 1-2  $\text{дм}^3/\text{с}$ .

Вони використовуються в основному місцевим населенням для питних і господарських потреб. Дослідженнями авторів [11, 16] установленно, що ґрунтові води мають добру і задовільну якість і лише біля мм. Городенки і Тлумача вона погіршується (рис. 3).

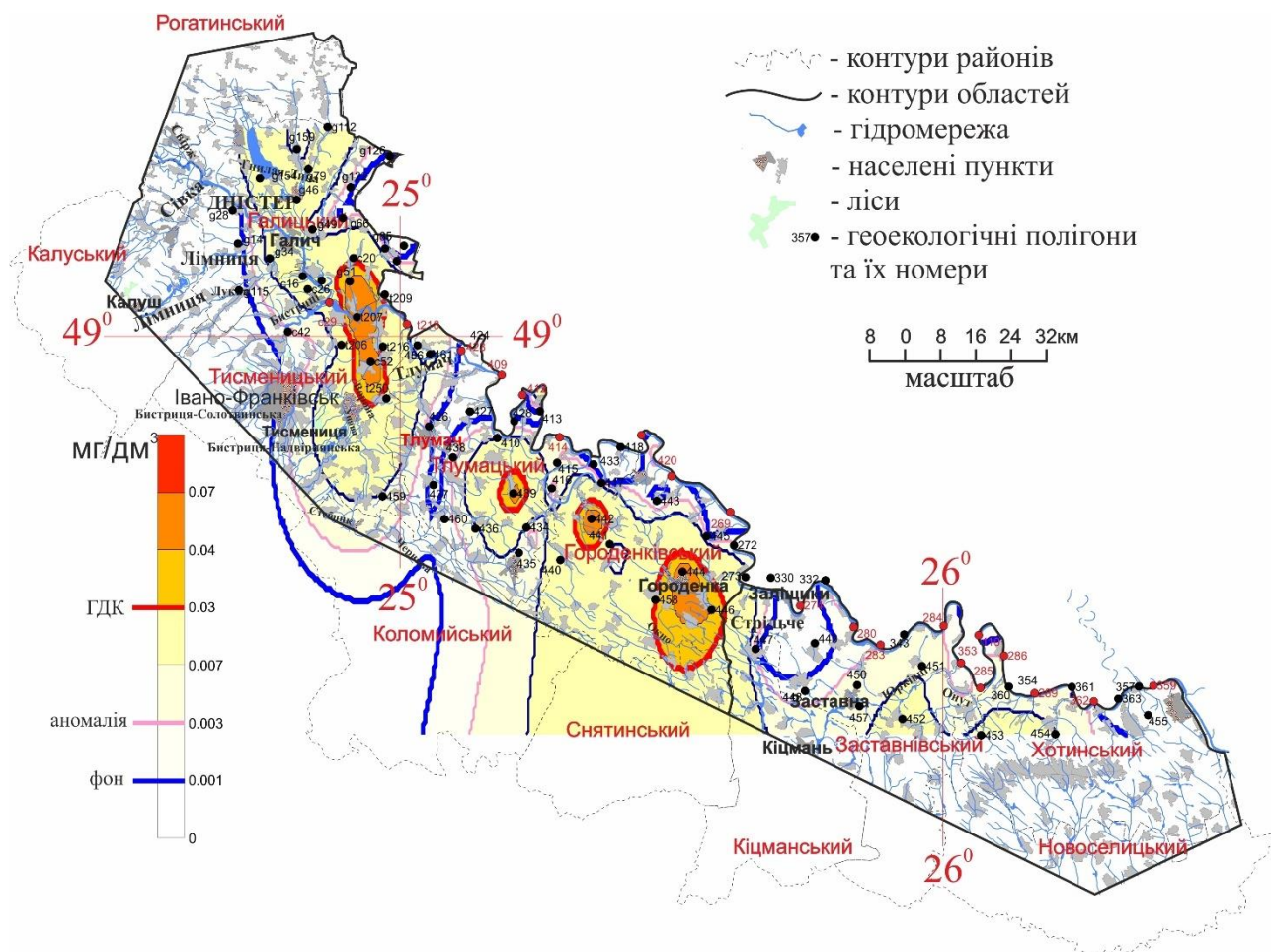


Рис. 3. Свинець Pb у ґрунтових водах Дністровського регіонального ландшафтного парку

**Атмосферне повітря.** Оцінювання екологічного стану атмосферного повітря виконувалось пересувною екологічною лабораторією нафтогазового комплексу. Вимірювались такі показники:  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_x$ , CO, пил, а також відбирались проби опадів снігу з визначенням його забруднень Pb і Cu (рис. 4). Цікавим виявився розподіл кисню  $\text{O}_2$

у атмосферному повітрі: у Дністровському каньйоні його вміст (22,06-22,20% об'ємних) перевищує фонові значення (21,83%) і середній вміст кисню у атмосферному повітрі (21,88%). Це свідчить про те, що Дністровський каньйон має не тільки більш теплі кліматичні умови, ніж у сусідніх районах, а й володіє унікальними умовами –

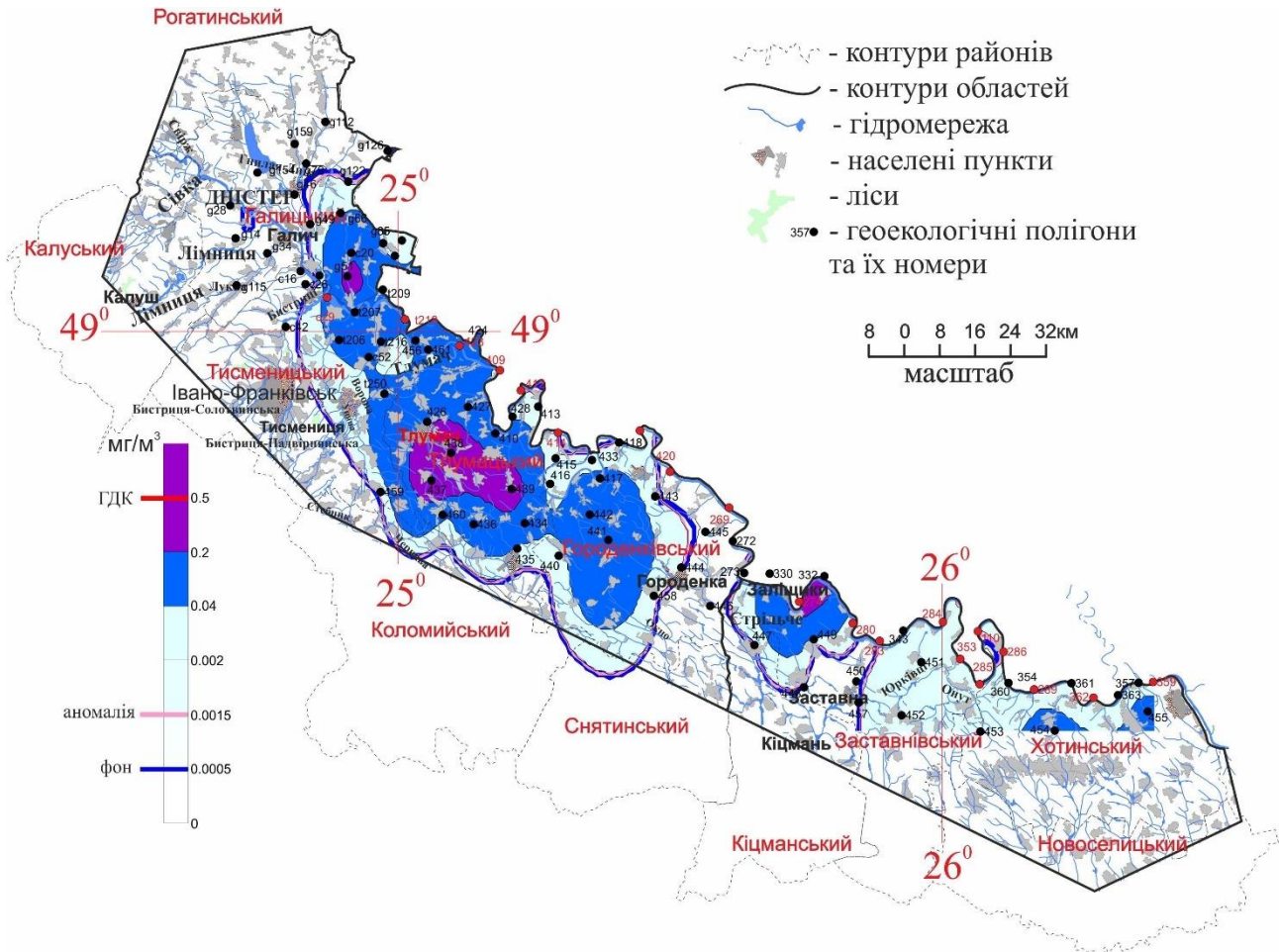


Рис. 4. Сполуки сірки  $SO_x$  у атмосферному повітрі Дністровського регіонального ландшафтного парку

надлишком кисню, що є важливим лікувальним чинником для оздоровчих цілей, розвитку рекреації та санаторно-курортної галузі [16].

Розподіл інших компонентів – забруднювачів атмосфери ( $SO_x$ , CO, пилу) показує їх підвищений вміст у деяких точках Городенківського та Тлумацького районів. Але ці вмісти перевищують лише фон і досягають ГДК лише біля м. Тлумача та Заліщиків.

Дещо по іншому поводить ся свинець в опадах снігу. Безпосередньо у каньйоні його не знайдено, лише на відтинку від с. Горигляди протягом кількох км він зустрічається у кількох точках. На правобережжі Дністра розповсюджений ланцюжок аномалій Pb від м. Івано-Франківська на південний схід до Городенки і Заліщиків. Можливо це вплив автотранспорту, або слід від Бурштинської ТЕС.

В цілому ж атмосферне повітря на території Дністровського РЛП перебуває у доброму стані.

**Фітосфера.** Рослинний покрив досліджуваної території досить різноманітний. Схили Дністровського каньйону і долини правих доплив Дністра покриті широколистяними лісами, переважно дубово-буково-грабовими, а широкі межиріччя – це різнотравно-злакові степи.

Для визначення екологічного стану рослинності та з'ясування, чи накопичує флора Дністровського РЛП ті чи інші елементи – забруднювачі, були проведені геохімічні дослідження з аналізом золи різнотравно-лучної рослинності. За даних таких аналізів Бюро мінеральних ресурсів Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, зола вміщує Cd, Pb, Cu, Zn, і V. На основі цього побудовані поелементні еколого-техногеохімічні карти (рис. 5).

Аналіз карт показав, що просторовий розподіл забруднювальних речовин у рослинності майже аналогічний такому у ґрунтового покриву. У цьому нічого дивного немає: адже рослинність засвоює ті ж самі речовини, що потрапляють у ґрунт.

**Зоосфера.** Зоогеографічні особливості території Дністровського РЛП визначаються його приналежністю до Європейської лісостепової зоогеографічної зони, Дністровського округу Передкарпатського лісового району.

У цілому фауна перебуває під антропогенним тиском і вимагає більш активного захисту. На жаль, екологічна оцінка стану зоосфери поки що не виконувалась.

**Техносфера.** Особливості техносфери обу-



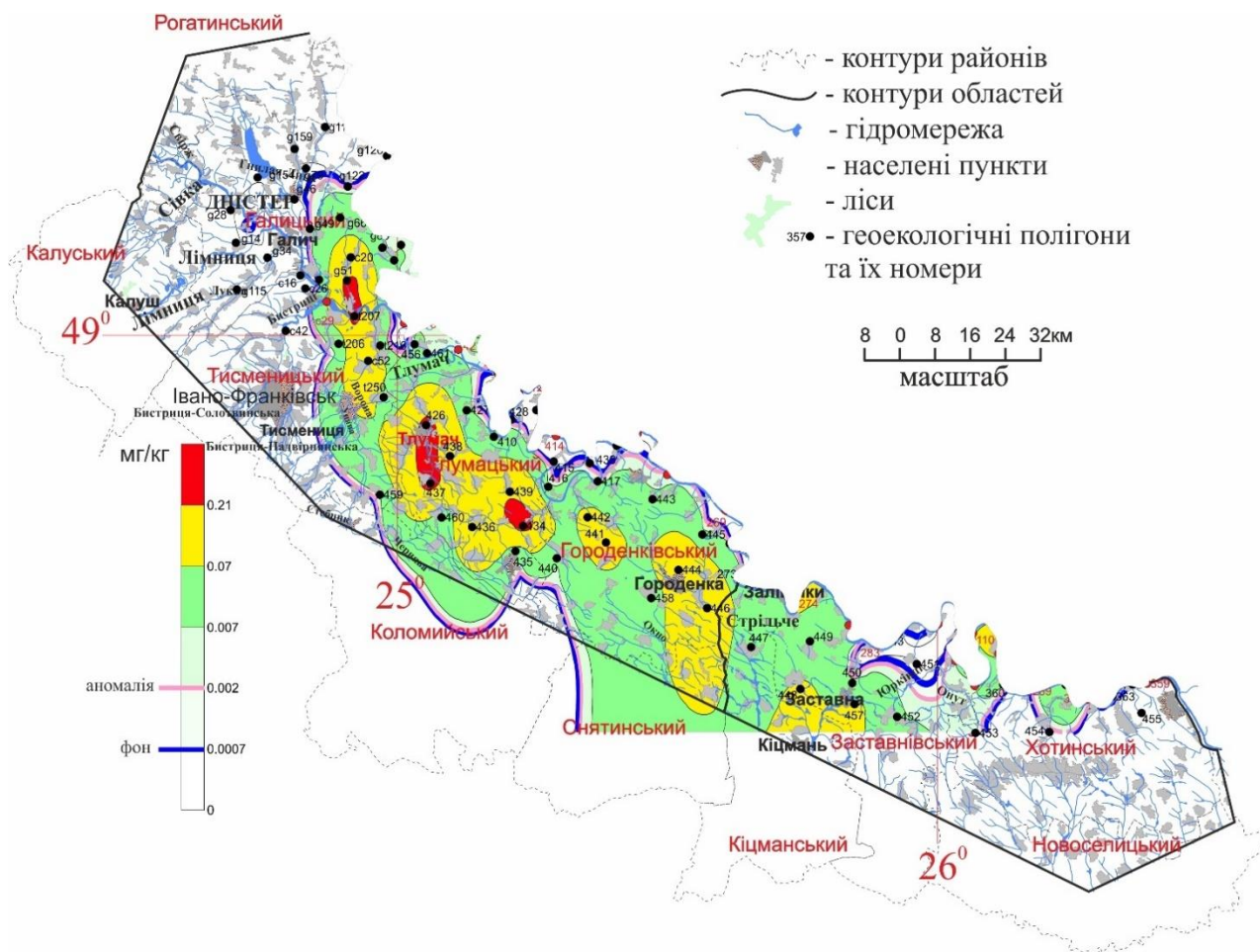


Рис. 5. Кадмій Cd у землі різнотравно-лучної рослинності Дністровського регіонального ландшафтної парку

мовлені розвитком господарства. У галузі промисловості Тлумачького та Городенківського районів діє 26 підприємств. Середньорічне валове виробництво продукції складає 120 млн грн, з якого 82% – продукція харчової промисловості. Найбільші підприємства – це ВАТ «Городенківський цукровий завод», потужність якого 22 тис. т цукру за сезон та ВАТ «Городенківський сир-завод» потужністю 44 тис. т переробки молока за рік. Важливе значення для економіки району має запуск заводу з приготування інфузійних розчинів, що будується спільно з французькою фірмою «UPSA».

Сільське господарство є традиційно розвинутим. Аграрний сектор привабливий для інвесторів. Площа сільгоспугідь 161,4 тис. га, у тому числі ріллі 150,7 тис. га. Рослинництво становить 61%, тваринництво 31% та підсобні промисли 8%. Розвинуто вирощування зернових культур, цукрових буряків, картоплі, овочів, фруктів, виробництво молока та м'яса. Для цього створено машинні тракторні станції, 42 пункти заготівлі сільгосппродукції, 84 пункти закупки молока, 13 ветеринарних пунктів.

На жаль, важлива складова соціосфери –

стан здоров'я населення до цього часу залишається не дослідженою.

**Карта сучасної екологічної ситуації** Дністровського РЛП виконана шляхом суміщення усіх досліджених середовищ (грунтів, ґрунтових вод, атмосферного повітря, опадів снігу та різнотравно-лучної рослинності) (рис. 6) з ландшафтною картою. В результаті отримуємо карту сучасної екологічної ситуації та екологічних станів для ліво- і правобережжя Дністра (рис. 7) [11, 16]. Екологічний стан геоекосистеми Дністровської долини визначаємо ранжуванням сумарних показників забруднення (СПЗ). Кожному стану відповідає той чи інший колір на карті та відповідно та чи інша геоекологічна структура – геоекологічна зона, геоекологічна смуга та ін. При цьому, там де техногенне навантаження незначне, геоекологічні зони і смуги відповідають контурам ландшафтів та ландшафтних місцевостей (долини Дністра та його ліві допливи, а де забруднення перевищує фон і створює аномалії, там геоекологічні зони і смуги не співпадають з ландшафтною структурою (Прут-Дністровське межиріччя).

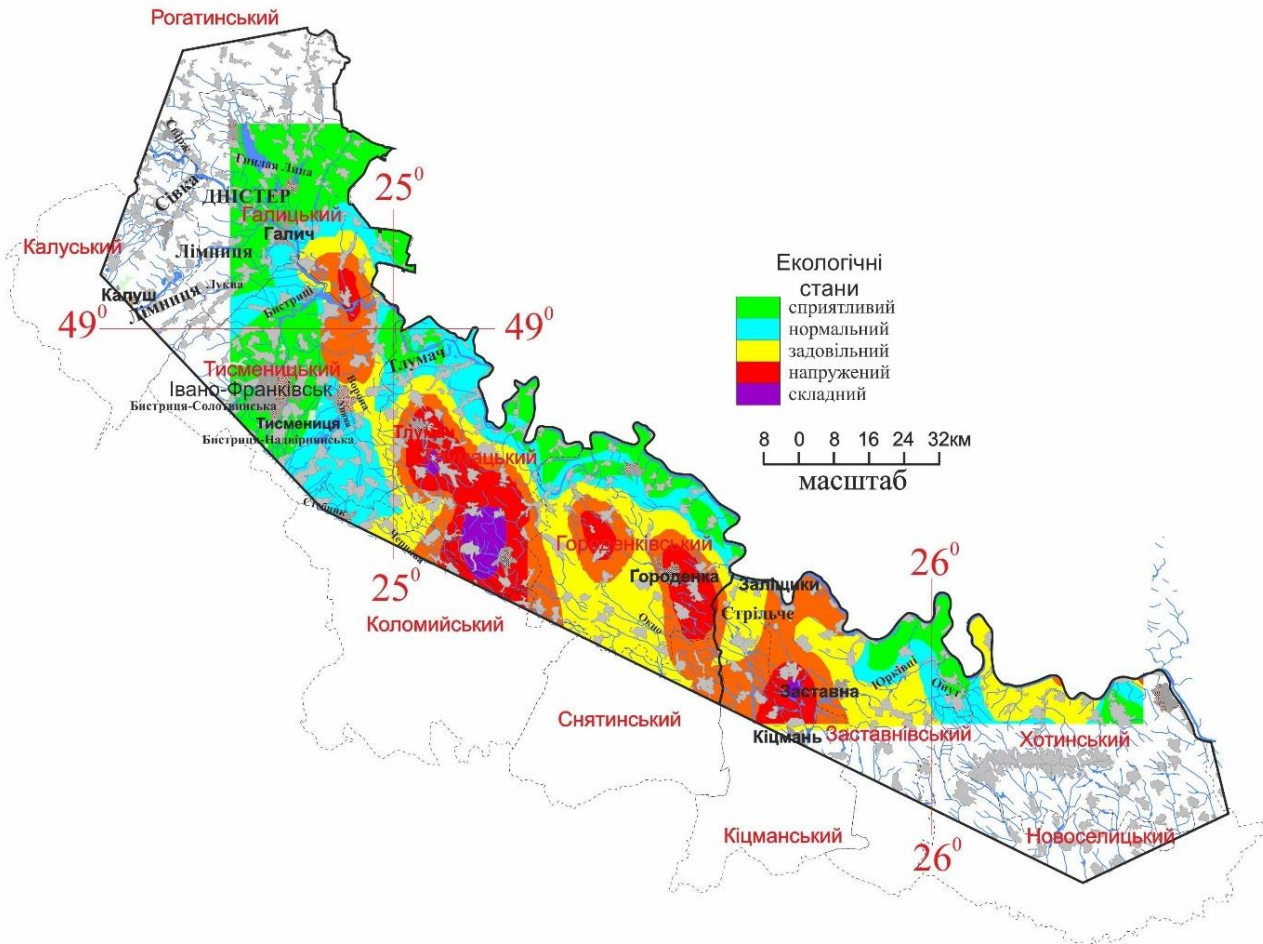


Рис. 6. Сумарна карта забруднення усіх середовищ – ґрунтів, ґрунтових вод, атмосферного повітря, опадів снігу та різнотравно-лучної рослинності

Згідно з фізико-географічними районуванням О.М. Маринича та П.Г. Шищенка [9], територія карти відноситься до Європейської рівнинної ландшафтної країни, зони широколистяних лісів, Західно-Українського ландшафтного краю з ландшафтними областями: Опільською (А), Західно-Подільською (Б) та Прут-Дністровською (В). В межах області А виділено на геоекологічні смуги I-VII, в межах Б – геоекологічні смуги VIII-XIX, а Прут-Дністровська ландшафтна область включає Прут-Дністровський ландшафт, що поділяється на ландшафтні місцевості 6-11. Їм відповідає Прут-Дністровська геоекологічна зона (В) з геоекологічними смугами: Тлумацька (XX), Незвиська (XXI), Городенківська (XXII), Кострижівська (XXIII) і Заставнівська (XXIV). Серед цих смуг Тлумацька та Городенківська є неузгодженими з ландшафтними структурами, а Заставнівська узгоджена лише частково і відповідає чотирьом ландшафтним місцевостям, які об'єднані одним контуром забруднення напруженого екологічного стану.

**Висновки.** Аналіз Стану довкілля Дністровського РЛП на основі еколого-техногеохімічної

оцінки стану ґрунтового покриву, гідросфери, атмосферного повітря та рослинності показав, що досліджувальна територія практично поки, що не забруднена. Окремі аномальні вмісти важких металів, сполук сірки, нафтопродуктів лише попереджають про поступове зростання техногенного впливу від господарської діяльності. Тому, на нашу думку, потрібна розробка довгострокової екологічної програми захисту довкілля Дністровської РЛП.

Карта сучасної екологічної ситуації свідчить про те, що просторовий розподіл геоекологічних зон і смуг з різним екологічним станом лівобережжя Дністра, де розташований національний природничий парк «Дністровський каньйон», переходять на правий берег, в межі Дністровського РЛП, що дозволяє авторам запропонувати підвищення природоохоронної категорії регіонального ландшафтного парку до національного природного парку. Його варто називати НПП «Дністровський каньйон», як це уже здійснили наші сусіди Тернопільської області на лівобережжі Дністра кілька років тому на основі відповідного Указу Президента України.

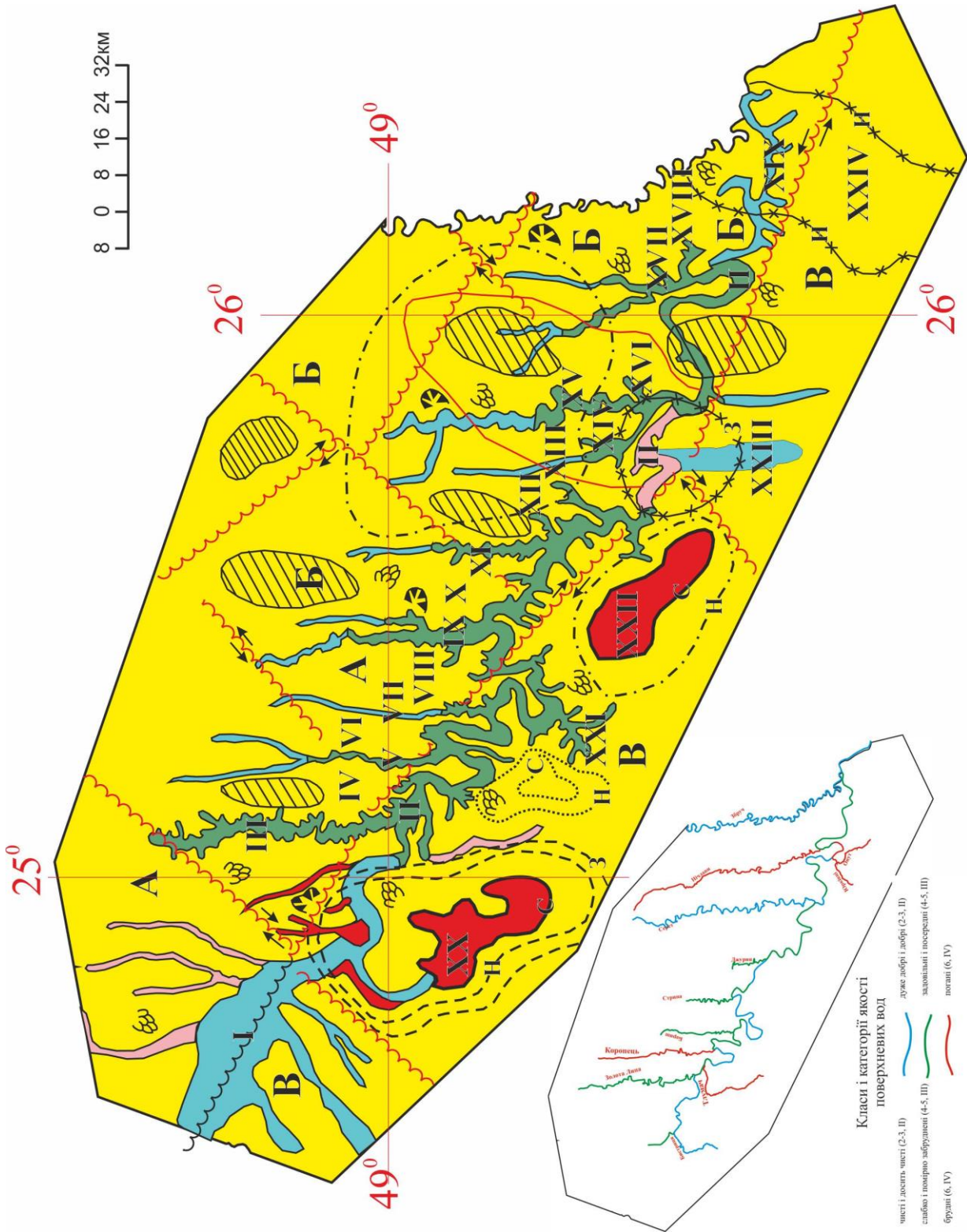







Рис. 7. Карта сучасної екологічної ситуації Дністровського РЛП та НПП «Дністровський каньйон»


Умовні позначення до рис. 7:

**Екологічний стан основних геокомпонентів довкілля**



**Геологічне середовище**

-  Сучасні активні геодинамічні зони стиснення (а) і розтягнення (б) земної кори, локальні здвиги та інші прояви неотектоніки
-  Глибинні розломи докембрійського фундаменту – зони сучасної тектонічної активності, виявлені геофізичними методами
-  Брахіантиклінальні структури в палеозойському чохлі, що проявляють сучасну тектонічну активність (за даними ДЗЗ)
-  Порушення геологічного середовища природними карстовими процесами – площі розповсюдження печер та поверхневих карстових форм
-  Порушення геологічного середовища техногенними процесами – кар'єрами з видобутку корисних копалин

**Геоморфосфера**


-  Порушення рельєфу природними процесами – зсувами та іншими екзогеодинамічними явищами (селями, обвалами, осипищами, суфозією, ерозією та ін.)

**Педосфера**


-  Сумарні показники забруднення (з – задовільний, н – напружений, с – складний екологічні стани) ґрунтів
-  Арéal радіаційного забруднення ґрунтів (1-2 кц/км<sup>2</sup>)

**Гідросфера**

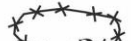
**Ґрунтові води**

-  Сумарні показники забруднення (Н - напружений, С - складний екологічні стани)

**Атмосферне повітря**

-  Сумарні показники забруднення (З - задовільний, Н - напружений, С - складний екологічні стани)

**Рослинність**

-  Сумарні показники забруднення золи лучного різнотрав'я (З - задовільний екологічний стан)

**Екологічний стан геоекологічних (еколого-ландшафтних) зон та смуг**

-  сприятливий
-  нормальний
-  задовільний
-  напружений
-  складний

А, Б, В – Геоекологічні зони  
I, II, III.....XXIV – Геоекологічні смуги

**Література**

1. Адаменко О.М. *Методологія та організація наукових досліджень в екології* / О.М. Адаменко, Н.О. Зоріна. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2015. – 172 с.
2. Альт А. *Геологический атлас Галиции. Тетрадь I* // А. Альт, Ф. Беняш. – Краков, 1887.
3. Барбот-де-Марни Н.П. *Отчет о поездке в Галицию, Волынь и Подолию в 1865г.* / Н.П. Барбот-де-Марни // Юбил. сб. Минерал. общ-ва, Санкт-Петербург, 1867.
4. Богуцький А.Б. *Антропогенні денудаційні поверхні вирівнювання північного краю Подільської височини* / А.Б. Богуцький, Й.М. Свинко – Київ : Доп. АН УРСР, № 6, 1975. – С. 433-435.
5. Веклич М.Ф. *Основні етапи розвитку річкових долин* / М.Ф. Веклич // *Геоморфологія річкових долин України.* – Київ: Наук.думка, 1965. – С. 7–26.
6. Веклич Ю.М. *Четвертинні відклади* / Ю.М. Веклич // *Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000, аркуш М-35-XXV. Пояснювальна записка.* – 2009. – С. 41–56.
7. Волошин І.М. *Ландшафтно-екологічні основи моніторингу* / І.М. Волошин. – Львів: Простір, 1998. – 336 с.
8. Гофштейн І.Д. *Неотектоніка і морфогенез верхнього Придністров'я* / І.Д. Гофштейн. – Київ: В-во АН УРСР, 1962. – 132с.
9. *Екологічна енциклопедія у 3-х томах.* – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2007. – Том 1. – 432 с. – 2008. – Том 2 – 416 с. – 2008. – Том 3. – 472 с.
10. *Екологічна модель Дністра* [Г. Плахтер, В.М. Стецюк, О.М. Адаменко та ін.]. – Київ: Знання, 1995. – 30 с.

11. Зорін Д.О. Географічні інформаційні системи екологічної безпеки: навчальний посібник / Д.О. Зорін. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2016. – 180 с.
12. Кравчук Я.С. Геоморфологія Передкарпаття / Я.С. Кравчук. – Львів: Меркатор, 1999. – 188 с.
13. Лунгерсгаузен Г.Ф. Геологічна еволюція Поділля і Південного Наддністров'я / Г.Ф. Лунгерсгаузен // Праці молодих вчених. – К.: вид-во АН УРСР, 1941. – С. 9–90.
14. Палиєнко В.П. О типах голоценового аллювія долини Дністра / В.П. Палиєнко // Матеріали по четвертинному періоду України. – К.: Наук. думка, 1974. – С. 247–250.
15. Полянський Ю.І. Подільські етюди: тераси, ліси і морфологія Галицького Поділля над Дністром / Ю.І. Полянський // Збірка матем.-природ.-лікарської секції НТШ. – Львів, 1929. – Т. 20. – 191с.
16. Трофимчук О.М. / Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду / О.М Трофимчук, О.М. Адаменко, В.М. Триснюк. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2020. – 340 с.
17. Царик Л.П. Еколого-географічний аналіз і оцінювання території: теорія і практика (на матеріалах Тернопільської області) / Л.П. Царик. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2006. – 256с.
18. Alth, A. Atlas geologiczny Galicyi. Textdorsz. 1. / Alth, A., Bieniasz, D. / Wyd. Kom. Fisiogr. Pol. Akad. Um. Kraków, 1887.
19. Boguckiy, A. Stratygrafia lessow Naddniestrza halickiego / Boguckiy A., Lanczont M. / Lessy I paleolit Naddniestrza halickiego (Ukraina) // Studiageologica Polonica / (Podred. T. Madeyskiej). – Kraków, 2002. – Vol. 119, Cz. III. – P. 315-341.
20. Czyzewski, J. Z historij doliny Dniestry: Pr. Geogr. - Z. 10. – Lwów-Warszawa, 1928. – P. 33-62.
21. Lanczont, M. Eopleistocene and Lower Mesopleistocene paleosols in the Zahvizdja profile in the East Carpathian Foreland (W. Ukraine) / Lanczont, M., Bogutskyj, A., Racinowski, R., Seul, C., Wojtanowicz, J. // Quaternary International, 2003. – P. 106 -107: 119-130.
22. Madeyska, T. Porównanie stratygrafii jaskiniowych i lessowych stanowisk paleolitycznych Jury Polskiej i Zachodniej Ukrainy. Z Archologii Ukrainy j Jury Ojcowskiej, 2001. – P. 415-432.
23. Szajnocha, W. Woskiemniz w Galicyi. Przewodnik Naukowo-Literacki, 1892. – P. 82: 177-187; 90: 266-283.
24. Yatsyshyn, A. Surfacoelsoess-soilcomplexesof Dniester'sterraces: Loesand Paleoenvironment / A. Yatsyshyn, R. Dmytruk. // Abstractsand Field Excursion Guidebook. – Moscow, May 26–June 1, 2003. – P. 63-64.

**Authors Contribution:** All authors have made an equal contribution to this work.

UDC 204.7; D01 10.30970

**Oleg Adamenko,**

Doctor of Science (Geology), Professor, Department of Ecology,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
15 Carpathian St., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine,  
e-mail: [yarad1964@gmail.com](mailto:yarad1964@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0821-3011>;

**Mykola Mosyuk,**

PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Department of Ecology,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
e-mail: [mosiuk@ukr.net](mailto:mosiuk@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0002-9828-7331>;

**Denis Zorin,**

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Ecology,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
e-mail: [denolzor@gmail.com](mailto:denolzor@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-3519-8171>

## ENVIRONMENTAL SITUATION OF DNISTER REGIONAL LANDSCAPE PARC

**Formulation of the problem.** The Dniester Regional Landscape Park (DRLP) is a natural protected area of Ukraine that extends along the right bank. Dniester, within the Tlumatsky and Gorodenkovsky districts of Ivano-Frankivsk region, covers an area of 19 656 ha. It was founded by the decisions of the Ivano-Frankivsk Regional Council on July 15, 1993 and December 3, 2016, when the park was named after Sergiy Didych. The objectives of the park are: conservation of valuable natural and floristic-cultural complexes; creation of conditions for efficient tourism and recreation; adherence to the regime of protection of protected objects; promotion of ecological and educational work; maintaining an overall environmental balance in the region.

**The research methodology** performed by the specialists of the Department of Ecology of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas was based on a component assessment of the ecological state of the geological environment, relief, water resources, atmospheric air, soil and vegetation, soci-

osphere and technosphere by selection construction of databases and ecological and technological-geochemical maps of the state of the environment.

**As a result of studies** of the geological environment, geomorphosphere and soil cover, their changes under the influence of natural (planar, linear and bright erosion, villages, landslides, landslides, landslides, etc.) and technogenic (quarries, drilling wells, etc.) factors are still negligible - from 0.0015 to 0.04% of the area and volume in the model areas. Surface water pollution in the Dniester River and its tributaries is average, and groundwater – from normal to satisfactory. Only in places where the polluted water is discharged is it difficult and unsatisfactory. Ecological condition of atmospheric air, precipitation of rain and snow, vegetation cover – normal and only about mm. Interpreter and Gorodenko – satisfactory and complex. On the whole, according to the assessment of all environmental components, the environment of the DRLP is still in good condition, but requires the implementation of the measures recommended by the authors.

**The scientific novelty** of the environmental research of the DLRP is that the authors of the article first performed their own field environmental studies on the monitoring system of each component of the landscape, and the results using GIS technologies to build a summary ecological map.

**The practical significance** of the work is to provide the DPRL with a scientific basis for the creation of a permanent ecological monitoring network and the dissemination of the methods of ecological assessment developed by the authors to other nature reserves and sites - nature monuments, reserves, national nature parks, nature reserves, biosphere reserves and reserves.

**Keywords:** regional landscape park, geological environment, geomorphosphere, soil cover, hydrosphere, ecological changes.

#### References

1. Adamenko, O.M., Zorina, N.O. (2015). *Methodology and organization of scientific research in ecology*. Ivano-Frankivsk: Suprun, V.P., 172.
2. Alth, A., Benyash, F. (1887). *Geological Atlas of Galicia. Notebook I*. Krakow.
3. Barbot-de-Marni, N.P. (1967). *Report on a trip to Galicia, Volhynia and Podolia in 1865. Jubilee. Sat Mineral. Society, St. Petersburg*.
4. Boguckiy, A.B. Svinko, J.M. (1975). *Anthropogenic denudation surfaces of the northern edge of the Podil Upland. Dopovidi AN USSR, 6, Kyiv, 433*.
5. Veklich, M.F. (1965). *The main stages of development of river valleys*. Kiev, Naukova dumka, 7–26.
6. Veklich, Yu.M. (2009). *Quaternary deposits. State Geological Map of Ukraine. Scale 1: 200 000, sheet M-35-XXV. Explanatory note, 41–56*.
7. Voloshin, I.M. (1998). *Landscape-ecological bases of monitoring*. Lviv, Space, 336.
8. Gofstein, I.D. (1962). *Neotectonics and morphogenesis of the upper Transnistria*. Kyiv, AN USSR, 132.
9. *Ecological encyclopedia in 3 volumes (2007–vol. I, 2008–II, 2008–III)*. Kyiv, I–432, II–416, III–472.
10. *Ecological model of the Dniester (G. Plachter, W.M. Stetsyuk, O.M. Adamenko and oth.) (1995)*. Kyiv, Znannja, 30.
11. Zorin, D.O. (2016). *Geographical information systems of ecological safety: textbook*. Ivano-Frankivsk, Suprun, V.P., 180.
12. Kravchuk, Ya.S. (1999). *Geomorphology of Precarpathia*. Lviv, Mercator, 188.
13. Lungershausen G.F. (1941). *Geological evolution of Podillya and Southern Transnistria*. Kyiv, AN USSR, 9-90.
14. Palienko, V.P. (1974). *On the types of Holocene alluvium of the Dniester valley. Materials on the Quaternary period of Ukraine*. Kyiv, Naukova dymka, 247-250.
15. Polyansky, Yu.I. (1929). *Podil etudes: terraces, forests and morphology of the Galician Podillya on the Dniester. Collection of mathematical-natural-medical section of NTSh*. Lviv, 20, 191.
16. Trofimchuk, O.M., Adamenko, O.M., Trisnjuk, V.M. (2020). *Geoinformation technologies for environmental protection of the nature reserve fund*. Ivano-Frankivsk-Kiiv, Suprun V.P., 340.
17. Tsarik, L.P. (2006). *Ecological-geographical analysis and assessment of territories: theory and practice (on the materials of Ternopil region)*. Ternopil, Bogdan, 256.
18. Alth, A., Bieniasz, D. (1887). *Atlas geologiczny Galicyi. Text do resz. I. Wyd. Kom. Fisiogr. Pol. Akad. Um. Kraków*.
19. Boguckiy, A. Lanczont, M. (2002). *Stratygrafia lessow Naddniestrza halickiego. Lessy I paleolit Naddniestrza halickiego (Ukraina). Studia geologica Polonica (Pod red. T. Madeyskiej)*. Kraków, 119, III, 315-341.
20. Czyzewski J. (1928). *Z historii doliny Dniestru: Pr. Geogr., 10. Lwów-Warszawa, 33-62*.
21. Lanczont, M., Bogutskiy, A., Racinowski, R., Seul, C., Wojtanowicz, J. (2003). *Eopleistocene and Lower Mesopleistocene paleosols in the Zahvizdja profile in the East Carpathian Foreland (W. Ukraine). Quaternary International, 106-107: 119-130*.
22. Madeyska, T. (2001). *Porównanie stratygrafii jaskiniowych i lessowych stanowisk paleolitycznych Iury Polskiej i Zachodniej Ukrainy. Z Archaologii Ukrainy j Iury Ojcowskiej: 415-432*.
23. Szajnocha, W. (1892). *Wosk ziemnz w Galicyi. Przewodnik Naukowo-Literacki, 82: 177-187; 90: 266-283*.
24. Yatsyshyn, A., Dmytruk, R. (2003). *Surface loess-soil complexes of Dniester's terraces: Loes and Paleoenvironment. Abstracts and Field Excursion Guidebook. Moskow, May 2–June 1, 63-64*.

**Ivan Platonovich Kovalchuk,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geodesy and Cartography,  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
17 Vasylykivska St., Building 6, Kyiv, 03040, Ukraine,  
e-mail: [kovalchukip@ukr.net](mailto:kovalchukip@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2164-1259>;

**Vitalii Oleksiyovich Martyniuk,**

PhD (Geography), Associate professor, Professor at the Department of Ecology, Geography and Tourism,  
Rivne State University of Humanities, 12 St. Bandery St., Rivne, 33028, Ukraine,  
e-mail: [martyniukVO@gmail.com](mailto:martyniukVO@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8654-3510>;

**Vaida Šeiriene,**

Doctor (Natural sciences), Senior researcher, Head of the Laboratory of Quaternary Research,  
Nature Research Centre Institute of Geology and Geography, 2 Akademijos St., LT-08412, Vilnius, Lithuania,  
e-mail: [vaida.seiriene@gamtc.lt](mailto:vaida.seiriene@gamtc.lt), <https://orcid.org/0000-0002-9477-2321>

## THE BASIN-LANDSCAPE APPROACH TO THE PROTECTION AND CONDITION OPTIMIZATION OF THE LAKES OF THE NATIONAL PARKS

**І. П. Ковальчук, В. О. Мартинюк, В. Шейрене. БАСЕЙНОВО-ЛАНДШАФТНИЙ ПІДХІД ДО ОХОРОНИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СТАНУ ОЗЕР НАЦІОНАЛЬНИХ ПАРКІВ.** Обґрунтовується сутність басейново-ландшафтного підходу до охорони озер національних парків як актуального напрямку досліджень, що формується на стику природоохоронного ландшафтознавства, гідрології та геоecології. Розкрито алгоритм дослідження, особливості аналізу та оцінки стану озерно-басейнової системи (ОБС), виявлено чинники, які погіршують геоecологічний стан в озерній і басейновій підсистемах, обґрунтовано оптимізаційні заходи в об'єктах природно-заповідного фонду, що розташовані у межах природного резервату.

Матеріалами дослідження слугували багаторічні польові ландшафтно-лімнологічні та геоecологічні дослідження авторів у межах Поліського регіону України та, зокрема, ОБС Нобельського національного природного парку. Методика дослідження ґрунтувалася на комплексних фізико-географічних методах, гідрологічного профілювання та створення батиметричних моделей водойм, гідрохімічної діагностики водних мас озер, геохімічних аналізів донних відкладів, ландшафтного картографування із застосуванням ГІС-технологій. На прикладі басейну озера Засвітське (Нобельський національний парк, Поліський регіон України) викладено результати його геоecологічних (ландшафтно-ecологічних) досліджень, зокрема, представлені оригінальні профілі і батиметрична модель водойми, ландшафтні карти аквального комплексу і водозбору озера, лімно- і ландшафтометричні характеристики ОБС. З урахуванням рівня антропогенних трансформацій ОБС і наявності високої частки ecолого-стабілізуючих угідь (лісів, водойми природного походження), рівень стійкості ОБС оцінюється як високий. Оцінка гідрологічних показників водойми та гідрохімічних характеристик дозволяє віднести дане озеро до олиготрофного типу. Результати комплексного аналізу геоecологічних параметрів стану озера Засвітське і його ландшафтно-лімнологічного функціонування свідчать про доцільність рекреаційної спеціалізації природодокористування в Нобельському національному парку, до складу якого входить це озеро. Обґрунтовано пропозиції щодо кадастрової оцінки ОБС трансграничних природоохоронних територій Рамсарського типу, схарактеризовані підходи до ландшафтно-географічного зонування ОБС і до охорони аквальних об'єктів.

**Ключові слова:** ландшафт, басейново-ландшафтний підхід, озерно-басейнова система, природний аквальний комплекс, природний територіальний комплекс, національний парк.

**И. П. Ковальчук, В. А. Мартинюк, В. Шейрене. БАСЕЙНОВО-ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К ОХРАНЕ И ОПТИМИЗАЦИИ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ.** Обосновывается сущность бассейново-ландшафтного подхода к охране озер национальных парков как актуального направления исследований, формирующегося на стыке природоохранного ландшафтоведения, гидрологии и геоecологии. Раскрыты алгоритм исследования, особенности анализа и оценки состояния озерно-басейновой системы (ОБС), выявления факторов, ухудшающих геоecологическую обстановку в ее озерной и бассейновой подсистемах, обоснования оптимизационных мероприятий в объектах природно-заповедного фонда, расположенных в пределах природного резервата.

Материалами исследования послужили многолетние полевые ландшафтно-лимнологические и геоecологические исследования авторов в пределах Полесского региона Украины и, в частности, ОБС Нобельского национального природного парка. Методика исследования основывалась на комплексных физико-географических методах, гидрологического профилирования и создание батиметрических моделей водоемов, гидрохимической диагностики водных масс озер, геохимических анализов донных отложений, ландшафтного картографирования с применением ГИС-технологий. На примере бассейна озера Засвитское (Нобельский национальный парк, Полесский регион Украины) изложены результаты его геоecологических (ландшафтно-ecологических) исследований. В частности, представлены оригинальные профили и батиметрическая карта водоема, ландшафтные карты аквального комплекса и водосбора озера, лимно- и ландшафтометрические характеристики озерно-басейновой системы. С учетом уровня антропогенных трансформаций ОБС и наличия доли ecолого-стабилизирующих угодий (лесов, водоёма природного происхождения), уровень устойчивости ОБС оценивается как высокий. Оценка гидрологических показателей водоема и гидрохимических характеристик позволяет отнести это озеро к олиготрофному типу. Результаты комплексного анализа геоecологических параметров состояния озера Засвитское и его ландшафтно-лимнологического функционирования свидетельствуют о целесообразности рекреационной специализации природопользования в Нобельском национальном парке, в состав которого входит это озеро. Обоснованы предложения по кадастровой оценке озерно-басейновых систем трансграничных природоохранных территорий Рамсарского типа, охарактеризованы подходы к ландшафтно-географическому зонированию ОБС и к охране аквальных объектов.

**Ключевые слова:** ландшафт, бассейново-ландшафтный подход, озерно-басейновая система, природный аквальный комплекс, природный территориальный комплекс, национальный парк.

**Formulation of the problem.** One of the viable mechanisms for preserving landscape diversity is creation of the national natural parks (NNP) or the other specially protected natural areas. The higher the “conservation index” of the areas is (namely the ratio between the actual area of the sites of the nature reserve fund (NRF) and the total area of some region), the more resistant the natural landscapes are to anthropogenic impact and the more optimal the geoecological situation is therein.

The physical-geographical region of Volyn Polissia (Ukraine), which is the region of our research, is characterized by a large number of nature reserve areas of different ranks (453 sites of NRF). In the structure of the NRF of this natural region, the national parks hold a dominant position (39.27%), the state reserves (36.06%) are in second place, and the nature reserves are in third place (16.12%). About 7.0% of NRF area account for regional landscape parks. Other NRF categories (reserved tracttracts, natural monuments and the similar.) are of secondary importance. Total conservation index in the territory of Volyn Polissia, which includes the area of all NRF site categories, equals to 9.74% [38]. According to scientists of the NAS of Ukraine [36], the conservation index for Polissia Territory (province) of Ukraine should have reached 20.0% by 2020. Today, this index in the Polissia region equals only 8.39%. At the same time, the lakes represent the great potential for expanding specially protected areas, including NNP.

The trans-border Upper-Prypiat physiographic region (PGR) is the most attractive from the landscape-attraction point of view and noted by the plenty of NRF sites. NNP Prypiat-Stokhid and the newly formed Nobel National Park are located here. Some territories in this PGR are included into the global ecological network of wetlands (Ramsar), in particular, Prypiat River Floodplain, Stokhid River Floodplain, as well as the trans-border Ukrainian-Belarusian wetland Prypiat-Stokhid-Prostyr.

A distinguishing feature of the landscape structure of the Upper Prypiat PGR is a high proportion of land covered by lakes (1.25%). In the total structure of surface waters, the lakes in the natural region account for 48.25% [26]. The lakes have significant biostation (habitation of waterfowl) and ecological-hydrological importance (ensuring functioning of river, lake and bog landscapes); they are attractive in esthetical and recreational terms. The lakes form the parts of almost all NRF sites mentioned above. In landscape planning or zoning of a national natural park, the lakes in some cases serve as peculiar ecological cores of exclusive conservation value, as well as recreational, tourist or economic sites. Years-long landscape-limnologic research that we have been performing in Ukraine provides the grounds

for suggesting a basin-landscape approach (B-LA) to studying lake-basin systems (LBS) as the most current and efficient one from the point of view of lake research and evaluation of geoecological conditions thereof, justification of measures for their utilization optimization, solution of the issues of biodiversity protection and operation management. After adoption of the EU Water Framework Directive [6] in 2000, the basin approach began to be actively used by EU countries in the integrated management of river systems and their basins. Unfortunately, the mechanisms for protection and management of aquatic ecosystems used for river basins are not always efficient for LBS.

**The target of our research** is to define parameters of the lake-basin landscapes structure (on the example of the lake Zasvitske, located in Nobel National Park, Ukraine), as well as limnic and landscape-metric indices of LBS geoecological condition, and the factors having impact thereon, as an important informational and analytical base for ensuring protection and operation management of LBS located in a specially protected natural area.

The lake Zasvitske is located in the eastern part of Upper-Prypiat physiographic region (fig. 1). The geographical coordinates of the central part of the lake are as follows:  $N\ 51^{\circ}52'30.5''$  and  $E\ 25^{\circ}44'04.2''$ . Since 1995 the basin system of the lake Zasvitske is forming a part of the ecological network structure of the Regional Landscape Park (RLP) Prypiat-Stokhid.

In accordance with the Order of the President dated 11.04.2019 (No 131/2019) “On Creation of Nobel National Natural Park” with the total area of 25318.81 *ha*, LBS of the lake Zasvitske was included into the newly established environmental structure. The overall view of the lake is shown in fig. 2.

**Materials and methods.** The research is based on field semi-mobile landscape limnologic and geoecological researches which have been conducted by the authors in the different landscapes of the physical-geographical region of Volyn Polissia, in particular, in the Regional Landscape Park Prypiat-Stokhid and in Nobel National Park [13; 16; 24; 26; 28]. Laboratory-analytical diagnostics of the taken samples and field data was performed in Rivne Branch of the State Institution “Soil Protection Institute of Ukraine” (soil samples, bottom deposits of the lake) and in the State Ecological Inspection of Ukraine in Rivne region (lake water). Fund materials of Kyiv Geological Survey Expedition (Kyiv GSE) were partially used in the work. Mapping models of LBS were made using the software *MapInfo Professional v8.5*.

The methodological base of the study is a basin concept of nature management [12; 14; 19], cartographical modelling of national parks [33] and basin



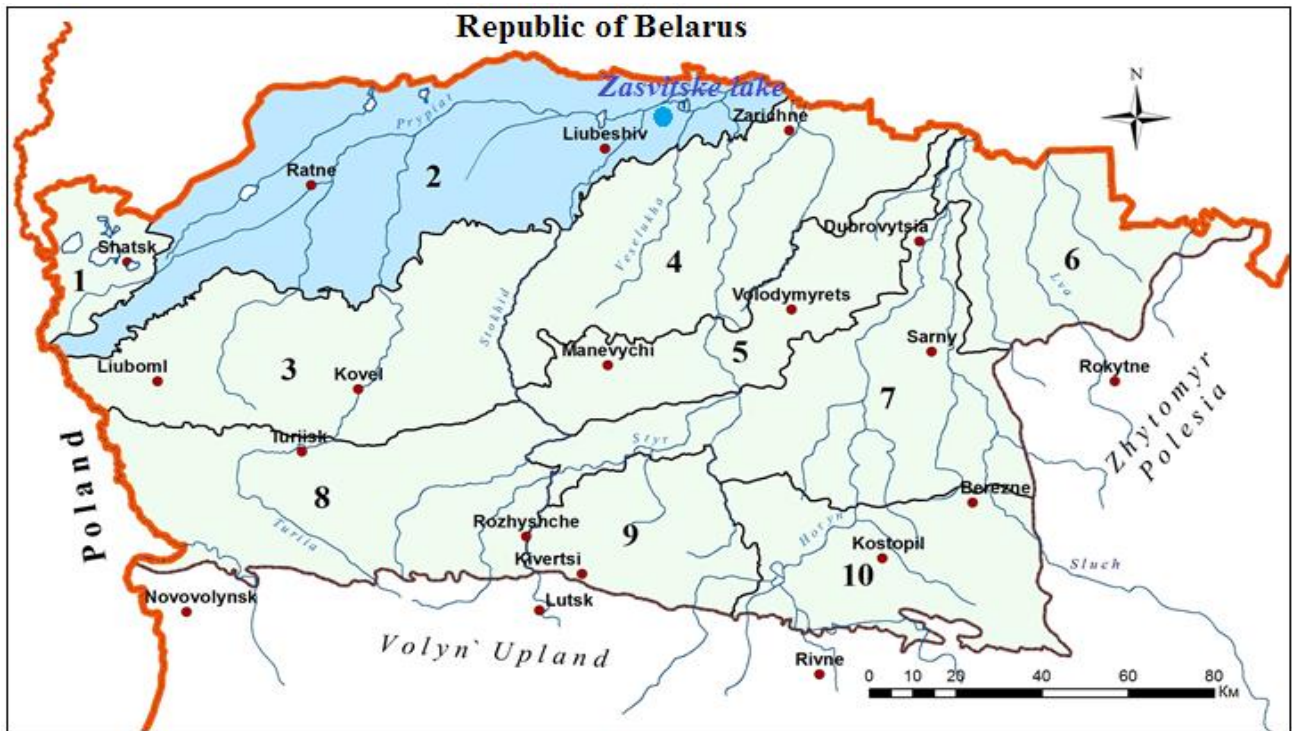
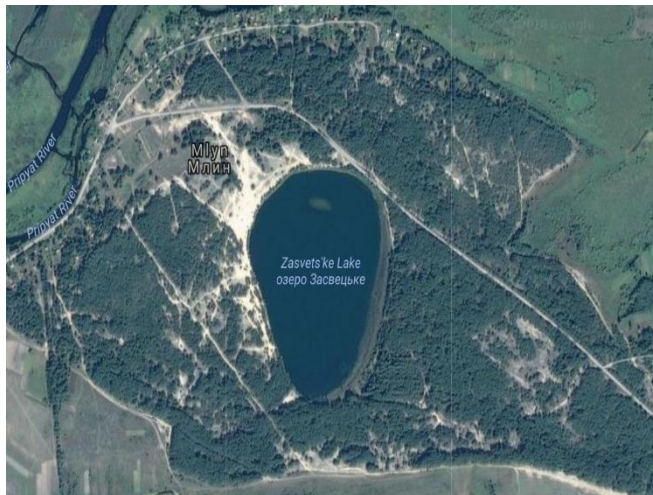


Fig. 1. Location of the basin system of Lake Zasvitske on the schematic map of physical-geographical regionalization of Volyn Polissia [25].

Legend:

*Physiographic regions:* 1 – Shatsk, 2 – Upper-Prypiat, 3 – Liuboml-Kovel, 4 – Lower-Styr, 5 – Manevyichi-Volodymyrets, 6 – Lva-Horyn, 7 – Kolky-Sarny, 8 – Turiisk-Rozhyshe, 9 – Kivertsi-Tsuman, 10 – Kostopil-Berezne.



Based on the materials: *Map data 2018 Google 2018 CNES / Airbus, DigitalGlobe*



Photo by V. Martyniuk (07.08.2018)

Fig. 2. A space image of the catchment of the lake Zasvitske (on the left) and the photo of its water area (on the right)

geosystems [37], perceptions of lake-basin systems [15; 18], works on landscape monitoring [29], limnology [3; 7; 9-10; 22], as well as the experience in landscape-limnologic analysis [17; 23], and constructive-geographical and cartographical modelling of LBS [15; 24; 27] and basin-river systems in Ukraine, as well as those located in the trans-border

territories [11; 40].

In the first decade of February 2012 we had been performing (from ice) a hydrological profiling of the park lakes, including the lake Zasvitske. Eight cross-sections were made with intervals of sounding sites at every 5.0 m at the lake investigated. There were in total 319 wells bored by the fishing ice bore.

At the moment of the research, ice thickness was 0.24-0.25 m. Uncertainty in measurement of the water body depth equalled to 0.05-0.1 m in separate

sounding sites Using the results of the hydrological profiling of the lake, we compiled the bathymetric map of the water body (fig. 3).

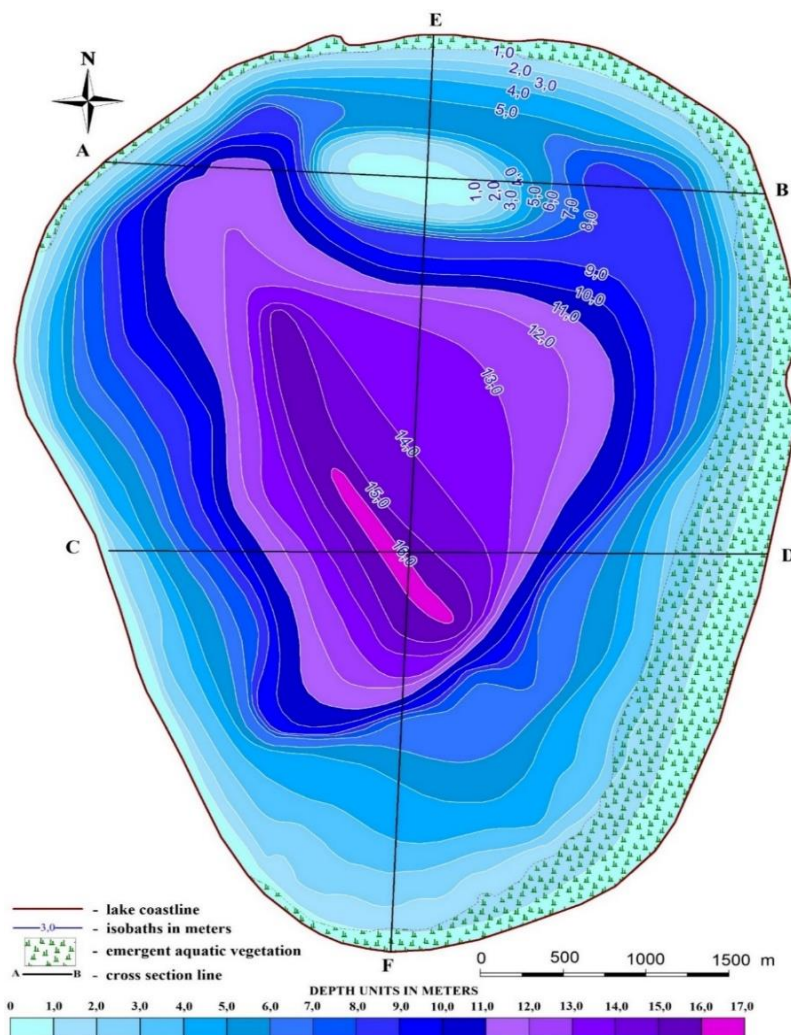


Fig. 3. Bathymetric model of the lake Zasvitske (main bathymetric profiling gates: A-B, C-D, E-F)

Hydrometric profiling and the digital bathymetric model of the lake that we made served as a basis for the landscape map creation. While composing the map, we took into consideration the peculiarities of the micro relief of the lake kettle depression, lithological composition of bottom sediments, peculiarities of geochemical processes and plant communities of the lake, as well as the features of seasonal thermic regime of the water body.

**The nature of basin-landscape approach to studying LBS**

The nature of B-LA lies in the fact that we consider a lake and its catchment as an integral natural (natural and economic) lake-basin system. The lake is represented as a subsystem of the lower order (as a natural-aquatic complex (NAC), and the natural territorial complexes (NTC) of various ranks of this lake catchment [18] serve as subsystems of the higher order. In terms of this methodological approach, the integral lake-basin system (LBS) serves

as an operational unit of the regional ecological network, a site of predominantly recreational-economic use and forestry-based use, sometimes as a site of natural resource management, and as a target of management impact, namely conservational, restricting, regenerating impact and nature resource management impact.

Broadly defined, the basin approach has been known and applied in the practice of natural resource management since the first half of XX century. It is represented by the works by V. Hlushkov, R. Horton, A. Strahler, N. Makkaveev and the other scientists. The landscape hydrological approach, as a separate aspect of the basin approach, was applied in the second half of XX century to specific river basins by many scientists (A. Antipov, E. Zmieva, S. Zotov I. Kovalchuk, L. Koryntnyi, Ya. Markus, F. Milkov, A. Obodovskyi, N. Solntsev, A. Subotin, H. Shvebs and others).

In limnology, the lake studies from the landscape-basin perspective were being activated in the latter part of 1960s of XX century by the scientists of the Institute of Limnology of RAS (I. Velikoretskaia, V. Drabkova, R. Kupetskaia, N. Miroshnichenko and others) under the supervision of the academician S. Kalesnik. The works were mainly limited to compilation of landscape maps of the lake catchments and evaluation of dimensional-typological structure of water body basins. In 1980s of the last century the limnologist O. Yakushko for the first time approached the study of the lake landscape structure as a natural aquatic complex (NAC). From the constructive-geographical positions, the lakes of Polissia region of Ukraine were studied by L. Iliin [9-10]. Similar studies are being carried out in Kazakhstan [31], Poland [39] and the USA [35], with much attention being paid to the issues of pollution of lakes with biogenic substances entering the water bodies from the surface runoff from agricultural land, evaluation of the condition of lakes in nature reserve areas, creation of inventory of lakes and the similar.

At present, B-LA has been widely applied in limnology in terms of methodology; however, there are very few publications with presented landscape maps of catchment together with NAC of lakes [2]. At the same time, an understanding of the essence of the landscape structure of a lake and its catchment does not always find an unambiguous perception among researchers, due to the fact that their search is based on different scientific concepts and algorithms. This situation is not conducive to solving the problems of protection and rational use of unique lakes located within the limits of the national parks or in the other NRF sites.

#### **Algorithm for investigation of lake-basin systems**

The algorithm we offered for investigation of the lakes in national parks, which is based on B-LA, includes three stages: 1) *preparatory* stage (selection and analysis of different-time cartographic sources, space and aerial photographs; selection of representative catchments, in other words, those typical for a certain type of landscapes, preparation of a topographic basis for compilation of landscape maps; preliminary decoding of space and aerial photographs, compilation of maps of landscape outlines of lake basins); 2) *field* stage (instrumental measurements, referencing to real coordinates using a *GPS* navigator, measurements of depths, water temperatures, hydrological profiling and compilation of bathymetric maps of lake kettle depression; sampling water, bottom sediments and soils within the limits of the catchment; analysing the species diversity of hygrophytes; compilation of preliminary maps of NAC and its morphological units); 3) *cam-*

*eral* stage (laboratory analysis of water, samples of bottom sediments and soils of water catchments, and vegetation; correction of field landscape maps, creation of basic landscape maps of NAC of lakes and NTC of their water catchments).

Our experience in LBS investigation [17; 23; 24] shows that the use of the results obtained on the basis of B-LA for the national natural parks with a high ratio of lake surface to drainage area of the territory will provide the possibility to enhance efficiency of reserved-recreational nature management, improve their geocological condition, preserve valuable nature reserve sites, solve the problems of geocological monitoring, protection and operation management thereof. The nature of B-LA in relation to protection of the lakes of the national parks is represented by the block scheme showing the main directions of LBS condition evaluation, sequence of research steps and targeting of optimizing measures (table 1).

#### **RESULTS AND DISCUSSION**

The lake Zasvitske is a water body of rounded form with a small extension in the northern part. The slopes of the lake kettle depression are steep. The bottom is sandy; in the north-eastern part in the littoral area it is sandy-muddy. The shores are raised and dry. Aquatic vegetation is developed as a narrow strip (up to 15-25 m) along the eastern and southern shores and is mainly represented by cattail and bulrush. Submerged vegetation is represented by water weed and is mainly developed along the shores. The processes of overgrowing of the lake shallow water cover about 10%. The foreshore is covered by meadow forbs and tree vegetation (pine, alder, birch). There is a beach located in the western part of the lake terrace in open sandy areas.

Water surface area of the lake Zasvitske is 0.22 km<sup>2</sup>. The lake length is 0.62 km; average width is about 0.35 km. We found the maximum depth of the water body which is 16 m. Average depth is 12.7 m. The length of the lake shoreline is 1.74 km. The lake water capacity is 5045.6 thousand m<sup>3</sup>. We have performed calculations of some limnologic coefficients, as well as those of indices in the "lake-catchment" system (table 2). They show both the current LBS condition and the potential for changes and development thereof.

LBS limnometric characteristics provided are, in fact, reference ones, they will be included into the hydrological block of the water body ecological passport and are important for comparison with the other lakes of the national park. Atmospheric precipitation and ground water of marly-chalky horizon are the main feed source of the lake. The latter aspect has been proved by divers who, when dived at the depth of 14.5-15.5 m, saw a peculiar diffusion phenomenon in the sink hole, which is infiltration of

Table 1

Block scheme of condition analysis of the lake-basin system and optimizing measures justification

Main directions of LBS condition evaluation and operation optimization	Essence of research, evaluation and optimizing measures
Inventory of the lakes located in the national parks and condition evaluation thereof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• justification (choice) of criteria of lake condition evaluation;</li> <li>• collection of information about the lake condition (archive information and present one – data on the lake morphology, their origin, geological-geomorphologic structure, about the aquatic complexes of the lake, its hydrochemistry and hydro-ecological condition);</li> <li>• analysis of the collected information about the lake condition, systematization and generalization thereof;</li> <li>• lake condition evaluation (components and aquatic complexes as a whole).</li> </ul>
Condition evaluation of water catchment basins of the lakes located in the national parks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• collection of information about the catchment, analysis, systematization and generalization thereof;</li> <li>• evaluation of the catchment condition (based on the analysis of the land reserve structure, kinds of economic impact on the landscape catchment systems, ratio of the lands stabilizing and those destabilizing the environmental situation, and the similar).</li> </ul>
Identification of the degree of water catchment surface being affected by negative processes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erosive;</li> <li>• deflationary;</li> <li>• waterlogging;</li> <li>• reduction of the productivity of agricultural lands;</li> <li>• pollution of soil and vegetation cover, surface water and ground water.</li> </ul>
Identification of risks of nature management in LBS	<p style="text-align: center;"><i>in the aquatic complex:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identification of risks of pollution and eutrophication of the lake;</li> <li>• identification of risks of reduction of the lake biological productivity;</li> <li>• identification of risks of change of the lake biodiversity.</li> <li>• identification of risks of ecological condition deterioration</li> </ul>
	<p style="text-align: center;"><i>at the catchment:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identification of risks of deterioration of the catchment ecological condition;</li> <li>• identification of risks of reduction of biotic and landscape diversity;</li> <li>• identification of risks of development of negative processes on the catchment surface (erosive; deflationary, melioration, and the similar).</li> </ul>
Justification of the measures aimed at improvement of LBS environment condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• measures for optimization of hydro-ecological situation;</li> <li>• measures for optimization of agro-ecological situation;</li> <li>• measures for optimization of bio-ecological situation;</li> <li>• measures for optimization of landscape-ecological situation in LBS;</li> <li>• measures for optimization nature management.</li> </ul>

Table 2

Morphometric and hydrological characteristics of the lake Zasvitske

* $F$ , $km^2$	$H_{abs.}$ , $m$	$h_{mid.}$ , $m$	$h_{max.}$ , $m$	$L$ , $km$	$W_{max.}$ , $km$	$W_{mid.}$ , $km$	$l$ , $km$	$C_t$	$C_{len.}$
0,22	138,6	12,70	16,0	0,62	0,48	0,35	1,74	0,59	1,77
$C_{cap.}$	$C_{op.}$	$C_{dep.}$	$V_{lake.}$ , thousand $m^3$	$A$	$\Delta S$ , $km^2$	$W_{influx}^{**}$ , thousand $m^3$	$a_{wat.}$	$\Delta a_{wat.}$ , $mm$	$A_{layer}$ $mm$
0,79	0,02	21,17	5045,60	0,31	3,23	89562,24	17,75	0,06	7106,48

\*Area ( $F$ ); absolute height of the water level ( $H_{abs.}$ ); maximum ( $h_{max.}$ ) and average depth ( $h_{mid.}$ ); length ( $L$ ); maximum width ( $W_{max.}$ ); length of the shoreline ( $l$ ); coefficients: of shoreline unevenness ( $C_t$ ); of the lake lengthening ( $C_{len.}$ ); of capacity ( $C_{cap.}$ ); of openness ( $C_{op.}$ ); of depth ( $C_{dep.}$ ); lake volume ( $V_{lake.}$ ); area index ( $A$ ); specific catchment ( $\Delta S$ ); volume of inflow water from the catchment ( $W_{influx}$ ); conditional water exchange ( $a_{wat.}$ ); specific water exchange ( $\Delta a_{wat.}$ ); water storage level on the catchment surface ( $A_{layer}$ ). \*\*The average annual runoff module,  $dm^3/s km^2 - 4.0$ .

underground horizon water and its mixing with the lake water. The lake is closed.

Sampling of water from the lake Zaslitske for hydrochemical analysis showed that in terms of the block of indicators of salt composition of water (A), the results conform to MAC for fishery water bodies, in terms of trophicity and saprobity biological

parameters (B) they also conform to standard indicators, except for BOD<sub>5</sub>, exceeding MAC by 0.85 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> (level of MAC exceedance in terms of hygienic classification of water bodies is allowable) (table 3). In terms of the block of toxic impact indicators (C) we observe MAC exceedance in the lake water only of copper and zinc (table 3).

Table 3

Hydrochemical indices of the lake Zaslitske (as of 04/04/2016)

Serial No	Index	MAC*	Results of measurements
A. Indicator of salt composition			
1	Mineralization (dry residue), mg/dm <sup>3</sup>	<300	112
2	Chloride ions, mg/dm <sup>3</sup>	300	26.6
3	Sulphates, mg/dm <sup>3</sup>	100	27.2
B. Tropho-saprobiological indicators			
1	Suspended substance, mg/dm <sup>3</sup>	25	10.58
2	Transparency, m	>1.5	3.2
3	pH	6.5-8.1	7.14
4	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg N/dm <sup>3</sup>	0.5	0.00
5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg N/dm <sup>3</sup>	40	0.375
6	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mg N/dm <sup>3</sup>	0.08	0.06
7	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg P/dm <sup>3</sup>	2.14	0.17
8	Dissolved oxygen, mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	≥6	10.4
9	% of saturation	>85	Not determined
10	BOD <sub>5</sub> , mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	3	3.85
C. Specific indicators of toxic impact			
1	Copper, mg/dm <sup>3</sup>	0.001-0.01	0.0035
2	Zinc, mg/dm <sup>3</sup>	0.01	0.031
3	Cadmium, mg/dm <sup>3</sup>	0.005	0.0013
4	Cobalt, mg/dm <sup>3</sup>	0.01	0.0033
5	Mangan, mg/dm <sup>3</sup>	0.01	0.0025
6	Lead, mg/dm <sup>3</sup>	0.01	0.0018
7	Iron, mg/dm <sup>3</sup>	0.1	0.1

\*Maximum Allowable Concentrations (MAC) of harmful substances for fishery water bodies [34].

Bottom sediments are represented by organomineral matter in the form of the lake sapropels. Maximum sapropel thickness (according to the data provided by Kyiv Geological Survey Expedition) of the lake Zaslitske is 6.5 m, and the average one is 2.22 m. The stock of sapropels is 116.3 m<sup>3</sup> at natural moisture level of 90.6% (according to C<sub>2</sub> category), and, recalculated at conditional 60.0% humidity amounts to 28.7 thousand tons. Pelogenous thickness is 0.2-0.3 m; it is mainly concentrated in the littoral zone of the lake. Geochemical analysis of bottom sediment samples at one of the sounding sites located at the western part of the lake showed that concentration of iron compounds (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in the samples (in % on a dry-matter basis) is in the range from 0.62 (10.5-11.0 m) to 1.16 (15.5-16.0 m), and the concentration of calcium compounds (CaO) varies from 0.37 (11.5-12.0 m) to 1.66 (15.5-16.0 m). Acidity index (pH saline) of

sapropels ranges from weakly acidic reaction (5.43 – one sample) to neutral reaction (6.08-6.35) (fig.4).

Field, laboratory and remote investigation of the components of the lake landscape system served as a basis for compilation of the digital landscape map of the lake. Based on the methodology [23], NAC of the lake Zaslitske is considered as a complex aquatic tract in the morphological landscape structure. We have distinguished three subtracts within the limits of this aquatic tract, in particular: littoral, sublittoral profundal and profundal ones. As a result of more detailed landscape differentiation, we have distinguished several kinds of aquafacies in each subtract (fig. 5).

**I. Littoral subtract on alluvial sand and clayey-sandy deposits with lenses of organic-sandy sapropels and a variety of floating and subaqueous macrophytes.**

*Aquafacies: 1.1. Littoral, abrasion-accumulati-*

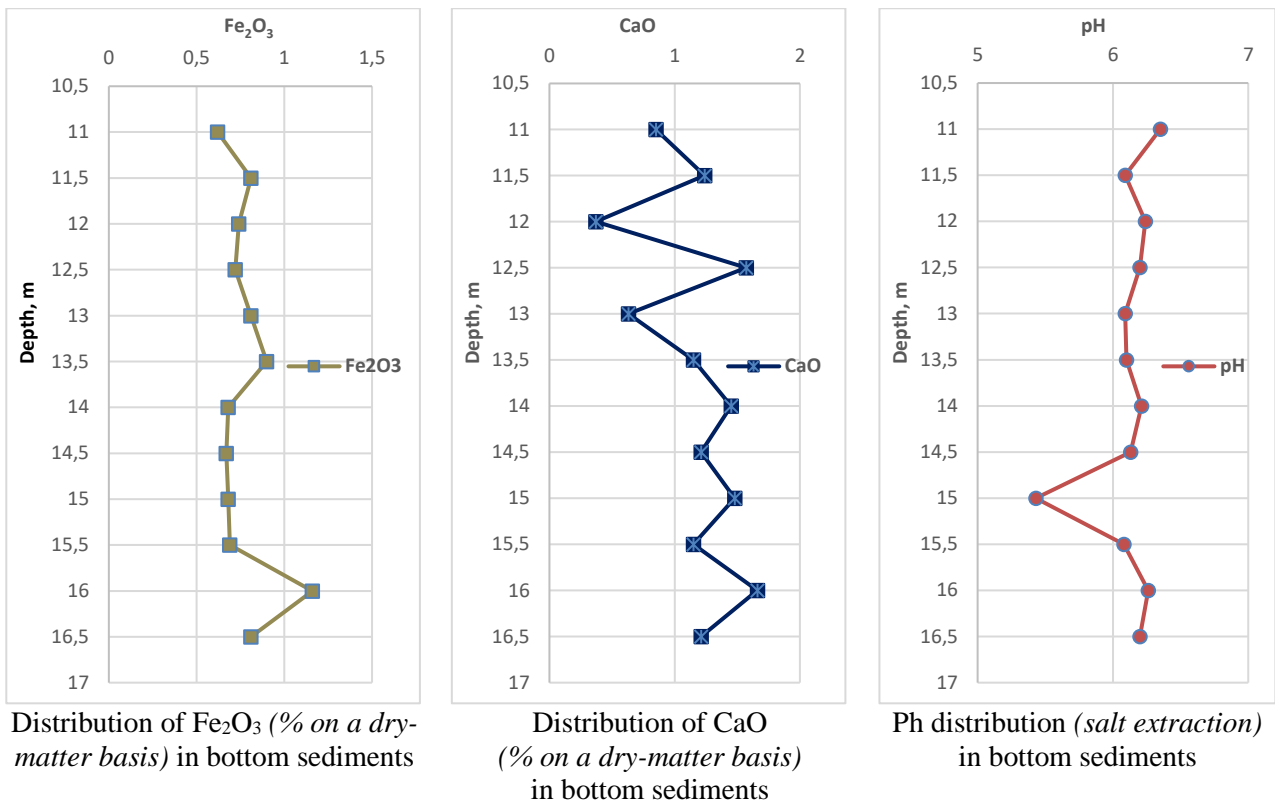


Fig. 4. Geochemical features of bottom sediments of the lake Zaslivske (the graphical charts are based on the materials of Kyiv Geological Survey Expedition)

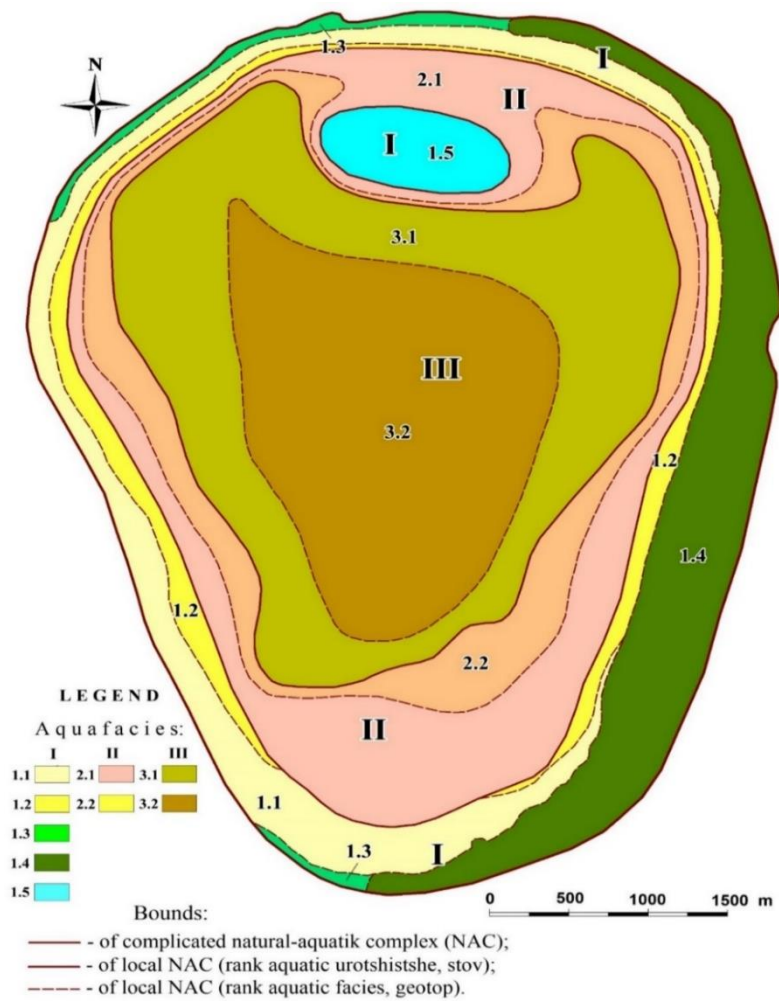


Fig. 5. Landscape map of the natural aquatic complex of the lake Zaslivske

ve sandy, sedge-cattail, with no temperature stratification. **1.2.** Littoral, abrasion-accumulative sandy-clayey, sedge-reed, with no temperature stratification. **1.3.** Littoral, accumulative clayey-sandy, cattail-reed and water lily-waterweed with no temperature stratification. **1.4.** Littoral, abrasion-accumulative terrigenous-sandy-clayey-pelitic with lens of organic-sandy sapropels, reed-cattail-sedge, with no temperature stratification. **1.5.** Littoral, of submerged-insular-elevation, transitional-accumulative sandy-clayey, sedge-cattail, with no temperature stratification.

**II. Sublittoral-profundal substract on organic-silicate sapropels formed on alluvial sand.**

*Aquafacies:* **2.1.** Sublittoral, transitional-accumulative, organic-sandy, sapropel, moderately thick (3.5-5.0 m), pondweed-charophytic, with seasonal temperature non-uniformity **2.2.** Sublittoral, accumulative-transitional, diatomic-sandy, sapropel, thick (5.0-6.5 m), with fully submerged water vegetation, with seasonal temperature non-uniformity.

**III. Profundal substract on carbonate-ferruginous sapropels formed on the upper cretaceous deposits of the Turonian Stage.**

*Aquafacies:* **3.1.** Profundal, transitional-accumulative, clayey-limestone, sapropels, shallow (up to 2.5 m), with single floating algae and seasonal temperature stratification. **3.2.** Profundal, accumulative, organic-ferruginous, sapropel, moderately sick

(2.5-5.0 m) of basin bed deepenings, with scarcity of specific vegetation and vividly expressed seasonal temperature stratification.

The largest area in NAC of the lake Zaslitske is covered by the profundal substract (above 42%). Two types of aquafacies are distinguished in this substract according to heterogeneity of species composition and thickness of sapropels, bathymetrical peculiarities of the lake basin, as well as according to pronounced seasonal temperature stratification. The littoral substract (30.80%) is distinguished by species diversity of aquafacies and the largest number of landscape units (6 pcs.).

This substract serves as a peculiar ecological buffer for penetration of chemical substances from the catchment. The southern part of the lake aquatic area with the biggest variety of macrophytes and submerged vegetation communities is affected by the greatest impact of biogenic substances. The sublittoral-profundal substract takes the intermediate position and covers the smallest area (about 26.5%); there are two kinds of aquafacies distinguished there.

The aquafacie of submerged-insular elevation is situated in the northern part of NAC; it is located in sublittoral-profundal substract, but belongs (according to geomorphological-lithological criteria) to the littoral substract. The complexity of NAC territorial differentiation is shown in more details in table 4.

Table 4

The complexity of NAC territorial structure of the lake Zaslitske

NAC type		Area (S) of NAC type, ha		% of the type area from the total area		No. of units of facies within NAC	% of total number	Mean area of the substract (ha)	*The index of the fractionality of landscape contours	*Index of landscape complexity	*The index of landscape fragmentation
Substract	Aquafacies	Substract	Aquafacies	Substract	Aquafacies						
						<i>n</i>	%	$S_0 = S/n$	$I_{f.c.} = n/S$	$I_{l.c.} = n/S_0$	$I_{l.f.} = I-S_0/S$
I		6.817		30.80		6	60.00	1.136	0.880	5.282	0.833
	1.1		2.085		9.42						
	1.2		1.127		5.09						
	1.3		0.281		1.27						
	1.4		2.762		12.48						
	1.5		0.562		2.54						
II		5.862		26.49		2	20.00	2.931	0.341	0.682	0.500
	2.1		3.616		16.34						
	2.2		2.246		10.15						
III		9.452		42.71		2	20.00	4.726	0.212	0.423	0.500
	3.1		5.207		23.53						
	3.2		4.245		19.18						
<b>Total</b>		<b>22.131</b>	<b>22.131</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>10</b>	<b>100.00</b>	<b>2.213</b>	<b>0.452</b>	<b>4.519</b>	<b>0.900</b>

\*Indices and coefficients were calculated according to the formulas proposed by A. Viktorov [4].

The catchment subsystem takes an important place in the integral LBS. The hydroecological situation in the water body itself will also depend on the geoecological processes happening on the catchment. The catchment area of the lake Zasvitske is 0.71 km<sup>2</sup>. Cartometric evaluation of spatial-typological structure of the lake catchment showed that 56.34% of its area is covered by forests, the lands with open sand cover 1.41%, slightly more than 11% are under road surface and about 31% are

represented by the lake aquatic area. There are no swamped or plowed lands within the limits of the catchment. Economic development index of the catchment is 0.13%. It is a very good indicator for a nature national park. The land structure in more details is outlined in table 5.

The landscape map of the lake catchment that we compiled as the result of the field instrumental investigations is shown in fig. 6.

Table 5

Parameters of the catchment of the lake Zasvitske and the structure of its land

S, km <sup>2</sup>	P, km <sup>2</sup>	m	Land area										S <sub>a.l</sub> / S <sub>not c.l</sub> %
			F <sub>lake</sub>		f <sub>forest</sub>		f <sub>sands</sub>		f <sub>arable lands</sub>		f <sub>road coverage</sub>		
			km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
0.71	3.58	0.68	0.22	30.98	0.40	56.34	0.01	1.41	0.00	0.00	0.08	11.27	0.13

\*Area of the catchment (S), perimeter of the catchment (P), coefficient of foreshore unevenness (m), lake area (F<sub>lake</sub>), forest index (f<sub>forest</sub>), open sand (f<sub>sands</sub>), arable lands (f<sub>arable lands</sub>), road coverage (f<sub>road coverage</sub>); S<sub>a.l</sub> /S<sub>not c.l</sub> (arable land/not cultivated land), % – indicator of economic development of the catchment.

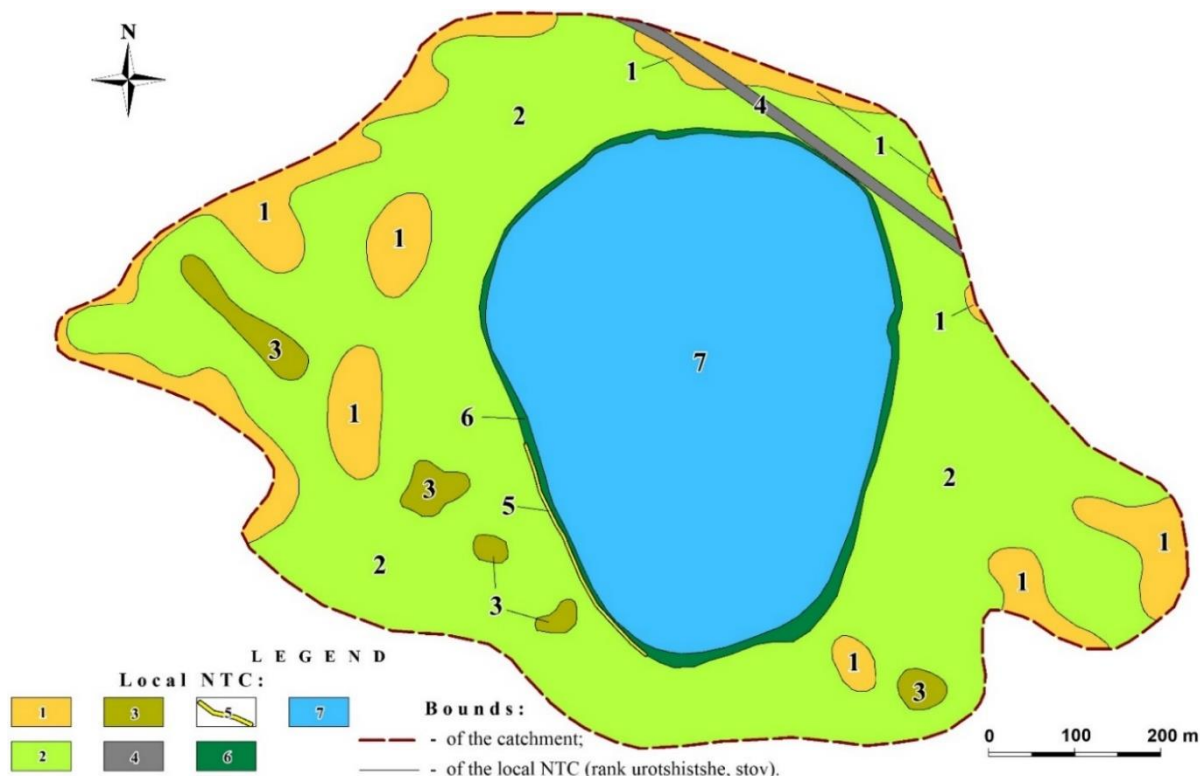


Fig. 6. Landscape structure of geocomplexes of the catchment of the lake Zasvitske

1. Sandy hills and dunes with gentle (10-12°) slopes, covered by lichenous- fruticulose and grass-true moss pine forests on sod-cryptopodzol-rubble-sandy and sandy loam soils. 2. Levelled and undulated sites, covered by bilberry-grass and lichenous-bracken pine forests on sod-cryptopodzol and low-podzol low-rubble eroded sandy and sandy loam soils. 3. Local hills with gentle slopes with weak (5-7°) sloping, covered by lichenous-true moss and lichenous-gramineous oak-birch-pine forests on

lopodzolic rubble-sandy and sandy loam soils. 4. A highway with stone covering and low artificial embankments with grassy slopes covered by grass-gramineous vegetation. 5. The lakeside sand bar, covered by pine-birch-alder small forest. 6. Lakeside narrow depressions, covered by mesophytic-gramineous-grass and cattail-sedge-true-moss, and pine-birch-willow small forest. 7. The lake kettle depression with an oval form, covered in the littoral zone by sedge-juncaceous-reed communities,



and in the sublittoral and profundal ones by sparse floating and bottom algae on sapropels.

We have distinguished seven NTC of the tract rank within the limits of the catchment, including the aquatic tract of the lake Zaslavtske. Nature complexes of the catchment are located at the highest orographical level and are confined to pine-forest terrace locality on alluvial aqueoglacial sandy clay, underlaid by chalky rocks.

The western part of the catchment is banded by the tracts of sandy hills and dunes (*k 1*). They have local nature of spreading in the rest part. NTC of levelled and undulated sites (*k 2*) of the basin system are dominant in area (more than 53%). Open sands are locally spread on non-grassy sites in the western part of the catchment. The tracts of local hills (*k 3*) comprise five landscape units and cover about 2% of the catchment area. There is a road with solid covering in the north-eastern part of the catchment (*k 4*). Traffic intensity is very low, thus,

anthropogenic influence from transport on the lake is miserable. The lake is bordered by lakeside depressions (*k 6*) and a small sand bar (*k 5*) in the south-western part of the catchment.

The provided indices of divisibility of the landscape outlines, the landscape complexity and the landscape fragmentation are important for comparison with other water bodies of the park being designed. The latter index is very informative and mainly depends on the number of outlines of NTC type (*n*). If the number of landscape units rises, the average weighted area ( $S_0$ ) will be smaller, and the landscape fragmentation index ( $I_{f.r.}$ ) will be approaching 1, in other words, to its maximum. At the same time, if  $n = 1$ , the coefficient  $I_{f.r.}$  will turn to zero. Complexity of territorial differentiation of NTC of the lake Zaslavtske is provided in table 6. The characteristics and indices calculated will be included into the ecological passport of this lake.

**Discussion of the results.** In accordance with

Table 6

Complexity of territorial dissection of the catchment of the lake Zaslavtske

The index of tracts	The area of the geocomplex type, km <sup>2</sup>	Share of the type area from the total area	Number of type outlines	Share from total area	Average area of the type, km <sup>2</sup>	*The index of the fractionality of landscape outlines	*Index of landscape complexity	*The index of landscape fragmentation
<i>k</i>	<i>S</i>	%	<i>n</i>	%	$S_0$	$I_{f.c.} = n/S$	$I_{l.c.} = n/S_0$	$I_{l.f.} = 1 - S_0/S$
1	0.0733	10.36	10	47.62	0.0073	136.4256	1369.8630	0.9004
2	0.3767	53.22	2	9.52	0.1884	5.3093	10.6157	0.4999
3	0.0137	1.94	5	23.81	0.0027	364.9635	1851.85189	0.8029
4	0.0064	0.90	1	4.76	0.0064	156.2500	156.25	0.0000
5	0.0015	0.21	1	4.76	0.0015	666.6667	666.6667	0.0000
6	0.0149	2.11	1	4.76	0.0149	67.1141	67.1141	0.0000
7	0.2213	31.27	1	4.76	0.2213	4.5188	4.5188	0.0000
<b>Total</b>	<b>0.7078</b>	<b>100.00</b>	<b>21</b>	<b>100.00</b>	<b>0.0337</b>	<b>29.6694</b>	<b>623.1454</b>	<b>0.9524</b>

\*Indices and coefficients were calculated according to the formulas of A. Viktorov [4].

the Law of Ukraine “On the Nature Reserve Fund”, four functional zones are distinguished in the territories of NNP, in particular, a reserved zone, a zone of regulated recreation, a stationary recreation zone and an economic zone [8]. The basis for their selection are landscape maps created as a result of field and laboratory research, analysis of thematic maps (geological, soil, botanical, geochemical, hydrochemical) and the Earth remote sensing data. The use of our landscape-basin approach and the algorithm for investigating LBS, the landscape maps of LBS as a whole, and the maps of their natural-aquatic subsystems created for the first time, provide further possibilities for functional zoning of

national parks with a high lake percentage, as well as for solving nature conservation problems and optimizing nature resource management. The electronic landscape maps that we compiled can be used as reference documents for further monitoring investigation of lakes and their basins. This task is extremely important under conditions of very intense climate changes both globally and regionally. This is evidenced by the results of researches carried out by scientists regarding the reaction of lakes to climate changes [1; 20; 30; 41]. Research prospects are seen in the more active use of Earth remote sensing data and LBS investigation using unmanned aerial vehicles, geoinformation-cartographic modelling of

changes in their condition and justification of a complex of nature protection measures. Similar in the content research is being also conducted in the foreign countries [5; 21; 32], which confirms the relevance, scientific and practical significance of LBS research.

### CONCLUSION

1. The research resulted in justification of the essence of basin-landscape approach to LBS investigation and informational and analytical provision for protection of the lakes of the national natural parks, as the direction, being formed at the interface of environmental landscape science, hydrology, constructive geography and geoecology. We revealed the peculiarities and proposed the block scheme (algorithm) of analysis and evaluation of the ecological condition of the lake-basin system (LBS) located in the territory of the nature reserve, and specified the steps to justify the measures aimed at optimizing its condition.

2. Based on field landscape and hydrological, limnologic and geographical research of Zasvitske lake-basin system, cross-section and longitudinal profiles of the lake have been composed for the first time,

as well as its bathymetrical map (in scale 1:5000), the landscape map of the lake and the whole LBS. We have obtained data on hydroecological condition of the water body, and on negative geomorphologic processes unfolding on the surface of the lake catchment. These data serve as informational-analytical base for further monitoring of ecological condition of LBS, planning of measures, aimed at conservation of the nature reserved site and improvement of its operation.

3. The characterised approach to studying nature-protected lake-basin systems, which combines cartometric, field landscape-geographical, hydrological-hydrochemical, geoecological researches and mapping, analysis of space images, fund materials of geological-searching works, and other information, can be applied while investigating lake-basin systems not only in the nature reserve areas, but also in the regions utilized long ago. The results obtained are of interest while solving the tasks of water and soil cadastre, introducing a passport system for water bodies with low water exchange, solving geoecological, nature-protecting and land use planning tasks.

### Bibliography

1. Benateau S. *Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and ecological status. Hydro-CH2018 Project. Federal Office for the Environment (FOEN) / S. Benateau, A. Gaudard, C. Stamm, F. Altermatt. – Bern, Switzerland, 2019. – P. 110. DOI: <https://doi.org/10.5167/uzh-169641>*
2. Булатов В. И. *Ландшафтно-экологический и картографический анализ озерно-бассейновых систем юга Западной Сибири (озера Чаны и Колундинское) / В.И. Булатов, И.Н. Ротанова, Д.В. Черных // Сибирский экологический журнал. – 2005. – № 2. – С. 175–182.*
3. Wetzel R. A. *Limnological analysis [Text] : monograph / R.A. Wetzel, G.E. Likens. 2nd ed. – New York [et al.] : Springer, 1991. – P. 391.*
4. Викторов А. С. *Рисунок ландшафта: анализ геометрических свойств ландшафта и его практическое применение. Изд. 2-е. – М. : ЛЕНАНД, 2014.*
5. Dawidek J. *The role of catchment and in-lake processes in shaping trophic conditions of the shallow lake Syczynskie (Eastern Poland) / J. Dawidek, W. Peczuła, B. Ferencz // Ecohydrology and Hydrobiology. – 2009. – № 2-4. – Pp. 193-200. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10104-010-0011-2>*
6. *DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. – Режим доступу: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF)*
7. Эдельштейн К. К. *Лимнология: учеб. пособие для бакалавриата / К.К. Эдельштейн. 2-е изд. – М. : Изд-во Юрайт, 2017. – 398 с.*
8. *Закон України «Про природно-заповідний фонд України» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1992. – № 34. – С. 502.*
9. Льюїс Л. В. *Лімнокмплекси Українського Полісся : монографія : У 2-х т. Т.1: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності / Л.В. Льюїс. – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки, 2008. – 316 с.*
10. Льюїс Л. В. *Лімнокмплекси Українського Полісся : монографія : У 2-х т. Т.2: Регіональні особливості та оптимізація / Л.В. Льюїс. – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки, 2008. – 400 с.*
11. Ковальчук А. І. *Атласне картографування річково-басейнових систем: монографія / А.І. Ковальчук, І.П. Ковальчук ; за наук. ред. проф. І.П. Ковальчука. – Львів : Простір-М, 2018. – 348 с.*
12. Ковальчук І. П. *Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз / І.П. Ковальчук. – Львів : Вид-во Ін-ту українознавства, 1997. – 440 с.*
13. Ковальчук І. П. *Водні ресурси, гідрологічний режим річок та озер в регіональному ландшафтному парку Прип'ять-Стохід / І.П. Ковальчук // Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія. – Київ: Ніка-центр, 2001. – Т. 2. – С. 323–334.*
14. Ковальчук І. П. *Управління водогосподарською та водоохоронною діяльністю (на прикладі басейну Західного Бугу) / І.П. Ковальчук // Український географічний журнал. – 2009. – № 3. – С. 49–53.*

15. Ковальчук І. П. Геоінформаційне атласне картографування озерно-басейнових систем / І.П. Ковальчук // *Наук. зап. Тернопільс. держ.-го нед.-го ун-ту. Сер. Географія.* – 2014. – № 1. – С. 176–182.
16. Ковальчук І. П. Ландшафтознавчо-лімнологічний аналіз озерно-басейнової системи (на прикладі озера Ніговище) / І. П. Ковальчук, В. О. Мартинюк // *Український географічний журнал.* – 2013. – № 2. – С. 60–66. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.060>
17. Kovalchuk I. P. Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine / I.P. Kovalchuk, V.A. Martyniuk // *Geography and Natural Resources.* – 2015. – Vol. 36. – Issue 3. – Pp. 305–312. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.060>
18. Ковальчук І. Конструктивно-географічні дослідження озерно-басейнових систем для потреб збалансованого природокористування / І. Ковальчук, В. Мартинюк // *Українська географія: сучасні виклики. Зб. наук. праць у 3-х т.* – К. : Принт-Сервіс, 2016. – Т. 2. – С. 128–130.
19. Корытний Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании / Л.М. Корытний. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. – 163 с.
20. Landkildetus F. Climate change effects on shallow lakes: design and preliminary results of a cross-European climate gradient mesocosm experiment / F. Landkildetus, M. Søndergaard, M. Beklioglu [at. el.] // *Estonian J. of Ecology.* – 2014. – № 63(2). – Pp. 71–89. <http://dx.doi.org/10.3176/eco.2014.2.02>
21. Liu X. Landscape Pattern Changes in the Xingkai Lake Area, Northeast China / X. Liu, Y Zhang, G. Dong, G. Hou, M. Jiang // *Int J Environ Res Public Health.* 2019. – № 16(20), 3820. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16203820>
22. Лопух П. С. Общая лимнология. Курс лекций / П. С. Лопух, О.Ф. Якушко. – Минск : Изд-во БГУ, 2011. – 340 с.
23. Мартинюк В. О. Ландшафтно-лімнологічний аналіз басейнової (озерної) геосистеми / В. О. Мартинюк // *Наук. зап. Тернопіл. держ.-го нед.-го ун-ту. Сер. Географія.* – 1999. – № 2. – С. 29–36.
24. Martyniuk V. Constructive geographical model of the lake-basin specialized recreational system (on the example of the lake Ostrivske, Ukrainian Polesia) / V. Martyniuk // *J of Wetlands Biodiversity.* – 2015. – Vol. 5. – Pp. 115–126.
25. Мартинюк В. О. Регіональне ландшафтно-гідрографічне ГІС-моделювання поверхневих вод Полісся / В. О. Мартинюк // *Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац.* – Брэст: Альтернатыва, 2018. – Вып. 11. – С. 70–73.
26. Мартинюк В. О. Гідрографічні особливості поверхневих вод Верхньоприп'ятського фізико-географічного району (Волинське Полісся) / В. О. Мартинюк // *Наук. вісник Херсон. держ.-го ун-ту. Серія: Географ. науки.* – 2019. – Вып. 11. – С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-11-15>
27. Martyniuk V. O. Regional constructive geographical modeling of lake-basin systems of Ukraine / V.O. Martyniuk, S.V. Andriichuk, I.V. Zubkovych // *The development of nature sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28, 2018.* – Brno: Baltija Publishing. – P. 218–222.
28. Martyniuk V. The landscape-limnological analysis of the key land «Ostrivsky lakes» (Nobel national park, Ukraine) / V. Martyniuk, I. Zubkovych // *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / edited by authors. 7th ed.* – Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2019. – Pp. 238–263. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-15-0-140>
29. Мельник А. В. Ландшафтний моніторинг / А.В. Мельник, Г.П. Міллер. – К. : ІСДО, 1993. – 152 с.
30. Mooij W. M. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review / W.M. Mooij, S. Hülsmann, L.N. De Senerpont Domis [et al.] // *Aquatic Ecology.* – 2005. – № 39. – Pp. 381-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-005-9008-0>
31. Nazarova T. Landscape and limnological research of lake system of the plain areas of the northeastern borderlands of the Republic of Kazakhstan and assessment of their recreational capacity / T. Nazarova, I. Fomin, P. Dmitriyev [et al.] // *Geojournal of Tourism and Geosites.* – 2019. – № 25. – Pp. 485–495. <http://dx.doi.org/10.30892/gtg.25217-375>
32. Pasztaleniec A. The Ecological Status of Lakes in National and Landscape Parks: Does the Location of a Lake and Its Catchment within a Protected Area Matter? / A. Pasztaleniec, S. Kutyla // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2015. – № 24 (1). – Pp. 227–240. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/24926>
33. Пересацько В. А. Географічне моделювання національних природних парків / В.А. Пересацько, О.В. Бодня. – Харків, 2010. – 28 с.
34. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействий (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М. : Изд-во ВНИРО, 1999.
35. Robertson D. M. Water-quality response to changes in phosphorus loading of the Winnebago Pool Lakes, Wisconsin, with special emphasis on the effects of internal loading in a chain of shallow lakes / D.M. Robertson, B.J. Siebers, M.W. Diebel, A.J. Somor // *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2018-5099*, 58. DOI: <https://doi.org/10.3133/sir20185099>
36. Руденко Л. Г. Методика оцінювання території для формування сети заповідних об'єктів в Україні / Л.Г. Руденко, А.Г. Голубцов, В.М. Чехний [и др.] // *Природопользование.* – 2019. – № 1. – С. 37–50.
37. Самойленко В. М. Моделювання басейнових геосистем: Монографія / В.М. Самойленко, Д.В. Іванок. – К. : ДП «Принт-Сервіс», 2015. – 208 с.
38. Сулік Л. Аналіз структури та геопросторового розподілу природно-заповідного фонду Волинського Полісся як важливої складової екотуристичного потенціалу регіону / Л. Сулік, Д. Кричевська // *Вісн. Львів. ун-ту. Серія географ.* – 2014. – № 47. – С. 273–280.

39. Choiński A. Jeziora w parkach narodowych, rezerwatach przyrody i parkach krajobrazowych Polski północnej i środkowej / A. Choiński, A. Macias // *Wody na obszarach chronionych*. J. Partyka, J. Pociask-Karteczka (red.) / Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Ojcowski Park Narodowy, Komisja Hydrologiczna PTG. – Kraków, 2008. – Pp. 31–42.
40. Управление трансграничным бассейном Днепра: суббассейн реки Припяти: монография; под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича, С.А. Афанасьева. – К.: Кафедра, 2012. – 448 с.
41. Havens K. *Ecological Responses of Lakes to Climate Change* / K. Havens, E. Jeppesen // *Water*. – 2018. – № 10(7).917. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w10070917>

**Authors Contribution:** All authors have made an equal contribution to this work.

UDC 911.5:502.13:502.51(285):556.55

**Ivan Kovalchuk,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geodesy and Cartography,  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
17 Vasylkivska St., Building 6, Kyiv, 03040, Ukraine,  
e-mail: [kovalchukip@ukr.net](mailto:kovalchukip@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2164-1259>;

**Vitalii Martyniuk,**

PhD (Geography), Associate professor, Professor at the Department of Ecology, Geography and Tourism,  
Rivne State University of Humanities, 12 St. Bandery St., Rivne, 33028, Ukraine,  
e-mail: [martynyukVO@gmail.com](mailto:martynyukVO@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8654-3510>;

**Vaida Šeirienė,**

Doctor (Natural sciences), Senior researcher, Head of the Laboratory of Quaternary Research,  
Nature Research Centre Institute of Geology and Geography, 2 Akademijos St., LT-08412, Vilnius, Lithuania,  
e-mail: [vaida.seiriene@gamtc.lt](mailto:vaida.seiriene@gamtc.lt), <https://orcid.org/0000-0002-9477-2321>

## THE BASIN-LANDSCAPE APPROACH TO THE PROTECTION AND CONDITION OPTIMIZATION OF THE LAKES OF THE NATIONAL PARKS

The essence of the basin-landscape approach to the protection of the lakes of the national parks as an actual direction of research, which is formed at the junction of nature protection landscaping, hydrology and geoecology has been substantiated. The research algorithm, peculiarities of analysis and assessment of the status of the lake-basin system (LBS) have been found out, the factors that worsen the geo-ecological state in the lake and basin subsystems have been revealed, optimization measures in the objects of the nature reserve fund located within the natural reserve have been substantiated.

The **purpose of the study** is to determine the parameters of the structure of lake-basin landscapes (on the example of Zasvitske lake, Nobel National Natural Park, Ukraine), liminary and landscape-metric indicators of the geo-ecological status of the LBS and the factors influencing it as an information and analytical basis for ensuring the protection and management of the LBS located in nature conservation area.

The **materials of the study** were the long-term field landscape-limnological and geo-ecological studies of the authors within the Polesia region of Ukraine and, in particular, the LBS of the Nobel National Nature Park.

The **research methodology** was based on complex physical-geographical methods, hydrological profiling and creation of bathymetric models of reservoirs, hydrochemical diagnostics of water masses of the lakes, geochemical analyses of bottom sediments, landscape mapping using GIS-technologies.

The **results** of geo-ecological (landscape-ecological) researches of the lake-basin system of Zasvitske lake have been presented, in particular, original profiles and bathymetric model of the reservoir, landscape maps of the aqual complex and the lake catchment, limno- and landscape characteristics of the LBS have been shown. Considering the level of anthropogenic transformations of the LBS and the presence of a high proportion of ecologically-stabilizing lands (forests, reservoirs of natural origin), the level of sustainability of the LBS is estimated as high. An assessment of the hydrological characteristics of the reservoir and hydrochemical characteristics allows to attribute this lake to an oligotrophic type. The results of a comprehensive analysis of the geo-ecological parameters of the state of Zasvitske lake and its landscape-limnological functioning indicate the expediency of recreational specialization of nature management in the Nobel National Park, that includes this lake.

**Scientific novelty.** The application of proposed landscape-basin approach and the algorithm of the LBS study increase the possibilities of functional zoning of national parks with high index of lakes, as well as solving the problems of nature protection and optimization of nature management.

**Practical importance.** The created electronic landscape maps and the base of limnometric parameters can be used as reference documents for the certification and cadastral evaluation of the transboundary protected areas of Ramsar type, geo-ecological monitoring and an integrated management of lakes by the basin approach in conditions of intense climate change.

**Keywords:** landscape, basin-landscape approach, lake-basin system, natural aqual complex, natural territorial complex, national park.

#### References

1. Benateau, S., Gaudard, A., Stamm, C. & Altermatt, F. (2019). *Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and ecological status. Hydro-CH2018 Project. Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland, 110.* <https://doi.org/10.5167/uzh-169641>
2. Bulatov, V.I., Rotanova, I.N., Chernyih, D.V. (2005). *Landscape-ecological and cartographic analysis of lake-basin systems in the south of Western Siberia (lake Chanyi and Kolundinskoe). Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal, 2, 175-182.*
3. Wetzel, R.A., Likens, G.E. (1991). *Limnological analysis : monograph. 2nd ed. New York [et al.] : Springer, 391.*
4. Viktorov, A.S. (2014). *Landscape drawing: analysis of the geometric properties of the landscape and its practical use. Edit. 2-nd. Moscow: LENAND.*
5. Dawidek, J., Peczuła, W., Ferencz, B. (2009). *The role of catchment and in-lake processes in shaping trophic conditions of the shallow lake Syczynskie (Eastern Poland). Ecohydrology and Hydrobiology, 9(2-4), 193-200.* <https://doi.org/10.2478/v10104-010-0011-2>
6. *DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (2020). Taken from: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF) [in English]*
7. Edelstein, K.K. (2017). *Limnology: a textbook for undergraduate studies. 2-nd ed. M.: Yurayt Publishing House, 398.*
8. *Law of Ukraine «About the natural reserve fund of Ukraine». (1992). Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 34, 502.*
9. Il'in, L.V. (2008a). *Limnocomplexes of Ukrainian Polesia : Monograph: In 2 t. T. 1: Spatial and geographical bases of research and regional patterns. Lutsk : RVV "Vezha" VNU im. L. Ukrainka.*
10. Il'in, L.V. (2008b). *Limnocomplexes of Ukrainian Polesia: Monograph: In 2 t. T. 2: Regional features and optimization. Lutsk : RVV "Vezha" VNU im. L. Ukrainka.*
11. Kovalchuk, A.I., Kovalchuk, I.P. (2018). *The atlas mapping of river basin systems: monograph; for science ed. prof. I.I. Kovalchuk. Lviv: Prostir-M, 348.*
12. Kovalchuk, I.P. (1997). *Regional ecological-geomorphological analysis. Lviv: Publishing House of the Institute of Ukrainian Studies, 440.*
13. Kovalchuk, I.P. (2001). *Water resources, hydrologic regime of rivers and lakes in the regional Pripjat Stokhid landscape park. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. Sci. collection. Kyiv: Nika Center, 2, 323-334.*
14. Kovalchuk, I.P. (2009). *The guidance of water management and water protection activities (on the example of the basin of Western Bug). Ukrainian Geographical Journal, 3, 49-53.*
15. Kovalchuk, I.P. (2014). *Geoinformation atlas mapping of lake-basin systems. Sci. notes of Ternopol. state. ped. Univ. Geography Series, 1, 176-182.*
16. Kovalchuk, I., Martyniuk, V. (2013). *Landscape-limnological analysis of lake-basin system (case study of lake Nigovische). Ukrainian Geographical Journal. 2, 60-66.* <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.060>
17. Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.A. (2015). *Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine. Geography and Natural Resources, 36(3), 305-312.* <https://doi.org/10.1134/S1875372815030117>
18. Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.O. (2016). *Constructive and geographical studies of lake-basin systems for the needs of sustainable nature management. Ukrainian geography: modern challenges. Coll. science works in 3-ree v. K., Print-Service, 2, 128-130.*
19. Koryitnyiy, L.M. (2001). *Basin concept in natural management. Irkutsk: Publishing House of the Institute Geography SO RAN, 163.*
20. Landkildehus, F., Søndergaard, M., Beklioglu, M., Adrian, R., Angeler, D. G., Hejzlar, J., Papastergiadou, E., Zingel, P., Çakiroğlu, A. I., Scharfenberger, U., Drakare, S., Nöges, T., Šorf, M., Stefanidis, K., Tavşanoğlu, Ü. N., Trigal, C., Mahdy, A., Papadaki, C., Tuvikene, L., Larsen, S. E., Kernan, M., Jeppesen, E. (2014). *Climate change effects on shallow lakes: design and preliminary results of a cross-European climate gradient mesocosm experiment. Estonian Journal of Ecology, 63, 2, 71-89.* <http://dx.doi.org/10.3176/eco.2014.2.02>
21. Liu, X., Zhang, Y., Dong, G., Hou, G., Jiang, M. (2019). *Landscape Pattern Changes in the Xingkai Lake Area, Northeast China. Int J Environ Res Public Health. 16(20), 3820.* <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16203820>

22. Lopuh, P.S., Yakushko, O.F. (2011). *General limnology. Lecture course*. Minsk: Publishing House BGU, 340.
23. Martyniuk, V.O. (1999). *Landscape-limnologic analysis of the basin (lake) geosystem*. Sci. notes of Ternopol. state. ped. Univ. Geography Series, 2, 29-36.
24. Martyniuk, V. (2015). *Constructive geographical model of the lake-basin specialized recreational system (on the example of the lake Ostrivske, Ukrainian Polesia)*. Journal of Wetlands Biodiversity, 5, 115-126.
25. Martyniuk, V.O. (2018). *Regional landscape-hydrographic GIS-modeling of surface water of Polessia. The natural Environment of Polesie: Features and Prospects for Development*. Brest: Alternatyva, Issue 11, 70-73.
26. Martyniuk, V.O. (2019). *Hydrographic peculiarities of surface waters of Verhnoprypiatskyi physical and geographical area (Volyn Polessia)*. Scientific bull. of Kherson state un-ty. Series: Geograph. sciences. 11, 114-123. <http://dx.doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-11-15>
27. Martyniuk, V.O., Andriichuk, S.V., Zubkovich, I.V. (2018). *Regional constructive geographical modeling of lake-basin systems of Ukraine. The development of nature sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28, 2018*. Brno: Baltija Publishing, 218-222.
28. Martyniuk, V., Zubkovich, I. (2019). *The landscape-limnological analysis of the key land «Ostrivsky lakes» (Nobel national park, Ukraine)*. New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / edited by authors. 7th ed. Riga, Latvia, "Baltija Publishing", 238-263. <http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-588-15-0-140>
29. Mel'nyk, A.V., Miller, H.P. (1993). *Landscape monitoring*. K., 152.
30. Mooij, W.M., Hülsmann, S., De Senerpont Domis, L.N., Nolet, B.A., Bodelier, P.L.E., Boers, P.C.M., et al. (2005). *The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review*. Aquatic Ecology, 39, 381-400. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-005-9008-0>
31. Nazarova, T., Fomin, I., Dmitriyev, P., Wendt, J., Janaleyeva, K. (2019). *Landscape and limnological research of lake system of the plain areas of the northeastern borderlands of the Republic of Kazakhstan and assessment of their recreational capacity*. Geojournal of Tourism and Geosites, 25, 485-495. <http://dx.doi.org/10.30892/gtg.25217-375>
32. Pasztaleniec, A., Kutyla, S. (2015). *The Ecological Status of Lakes in National and Landscape Parks: Does the Location of a Lake and Its Catchment within a Protected Area Matter?* Pol. J. Environ. Stud. 24 (1), 227-240. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/24926>
33. Peresadko, V.A., Bodnya, O.V. (2010). *Geographical modeling of national nature parks*. Kharkiv, 28.
34. *The list of fishery standards for maximum permissible concentrations (MPC) and tentatively safe levels of exposure (TSLE) of harmful substances for water bodies of fishery importance*. (1999). Moscow, VNIRO Publishing House.
35. Robertson, D.M., Siebers, B.J., Diebel, M.W., Somor, A.J., (2018). *Water-quality response to changes in phosphorus loading of the Winnebago Pool Lakes, Wisconsin, with special emphasis on the effects of internal loading in a chain of shallow lakes: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2018-5099*, 58, <https://doi.org/10.3133/sir20185099>
36. Rudenko, L.G., Golubtsov, A.G., Chekhniy, V.M., Ivanenko, Eu.I., Didukh, Ya.P., Lisovskiy, S.A., Maruniak, Eu.A., Kostyshyn, V.A. (2019). *Methodology of territory assessment for the development of protected areas network in Ukraine*. Nature management, 1, 37-50.
37. Samoilenko, V.M., Ivanok D.V. (2015). *Modeling of basin geosystems: Monograph*. K.: SE «Print Service», 208.
38. Sulik, L., Krychevs'ka, D. (2014). *An analysis of the structure and geospatial distribution of the nature reserve fund of Volyn Polesia as an important component of the ecotourism potential of the region*. Visnyk of the Lviv University. Series Geography, 47, 273-280.
39. Choin'ski, A., Macias, A. (2008). *Jeziora w parkach narodowych, rezerwatach przyrody i parkach krajobrazowych Polski północnej i środkowej. Wody na obszarach chronionych*. J. Partyka, J. Pociask-Karteczka (red.) Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Ojcowski Park Narodowy, Komisja Hydrologiczna PTG. Kraków, 31-42.
40. *Management of the transboundary basin of the Dnieper: the sub-basin of the river Pripyat: monograph; under the editorship of A.G. Obodovskiy, A.P. Stankevich, S.A. Afanasiev*. (2012). K., Department, 448.
41. Havens, K., Jeppesen, E. (2018). *Ecological Responses of Lakes to Climate Change*. Water. 10(7):917. <http://dx.doi.org/10.3390/w10070917>

УДК 551.510/.509.68+614.841.42

**Лариса Анатоліївна Писаренко,**

м. н. с. відділу прикладної метеорології та кліматології,  
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,  
пр-т Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,  
e-mail: [larpys@uhmi.org.ua](mailto:larpys@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2885-0213>;

**Михайло Валерійович Савенець,**

к. геогр. н., с. н. с. відділу моніторингу атмосфери,  
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,  
e-mail: [savenetsm@gmail.com](mailto:savenetsm@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

## ПОЖЕЖІ В ЕКОСИСТЕМАХ ТА ВПЛИВ НА АТМОСФЕРУ

У роботі досліджуються просторовий розподіл пожеж в екосистемах та їх наслідки для атмосфери, пов'язані з емісією продуктів горіння і подальшим впливом на перебіг атмосферних процесів. Аналіз згорілої частки, внеску лісових пожеж та пожеж на землях аграрного призначення, потоків вуглецю і сухої частки в атмосферу проведено на даних та інвентаризаціях GFED4 за період 1997–2016 рр. Для додаткового аналізу впливу продуктів горіння на атмосферу залучено супутникові дані світлопоглинаючого аерозольного індексу ОМІ (Aura) та дані метеорологічних спостережень. Встановлено кількість згорілої частки лісів та земель аграрного призначення, проаналізовано сезонні особливості та тенденції зміни площі пожеж в екосистемах. Досліджено потоки вуглецю та сухої частки внаслідок горіння біомаси та показано необхідність обов'язкового врахування емісії продуктів горіння з пожеж на полях для оцінки якості атмосферного повітря в Україні. Максимальні значення потоку речовини спостерігаються під час лісових пожеж на Поліссі, проте найбільшого просторового поширення продуктів горіння спостерігається внаслідок пожеж на полях в період з березня по квітень та з липня по вересень. Аналіз залежності світлопоглинаючого аерозольного індексу від згорілої частки та потоків речовини в атмосферу показав можливість його використання як індикатора наявності продуктів горіння в атмосфері, починаючи із значень 0.2–0.4. Серед можливих наслідків значної емісії продуктів горіння для атмосферних процесів можуть бути локальне зниження температури повітря під час періоду пожежі та зменшення кількості днів із опадами у наступний місяць після інтенсивних пожеж. Попередня оцінка показала зменшення позитивної аномалії температури з 0.7 до 0.1°C та зменшення кількості днів із опадами вдвічі, за умови, що середньомісячне значення світлопоглинаючого аерозольного індексу перевищило 1.2.

**Ключові слова:** пожежі, емісія, згоріла частка, продукти горіння, вуглець, суха частка, аерозольний індекс.

**Л. А. Писаренко, М. В. Савенець. ПОЖАРЫ В ЭКОСИСТЕМАХ И ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРУ.** В работе исследуется пространственное распределение пожаров в экосистемах и их последствия для атмосферы, связанные с эмиссией продуктов горения и дальнейшим влиянием на атмосферные процессы. Анализ сгоревшей доли, вклада лесных пожаров и пожаров на землях аграрного назначения, потоков углерода и сухих частиц в атмосферу проведено с использованием данных и инвентаризаций GFED4 за период 1997 – 2016 гг. Для дополнительного анализа влияния продуктов горения на атмосферу использованы спутниковые данные светопоглощающего аэрозольного индекса ОМІ (Aura) и данные метеорологических наблюдений. Исследовано количество сгоревшей доли лесов и земель аграрного назначения, проанализированы сезонные особенности и тенденции изменения площади пожаров в экосистемах. Исследованы потоки углерода и сухих частиц вследствие горения биомассы и показана необходимость обязательного учета эмиссии продуктов горения во время пожаров на полях для оценки качества атмосферного воздуха в Украине. Максимальные значения потока вещества наблюдаются во время лесных пожаров на Полесье, однако наибольшее пространственное распространение продуктов горения наблюдается вследствие пожаров на полях в период с марта по апрель и с июля по сентябрь. Анализ зависимости светопоглощающего аэрозольного индекса от сгоревшей доли и потоков вещества в атмосферу показал возможность его использования как индикатора наличия продуктов горения в атмосфере, начиная со значений 0.2–0.4. Среди возможных последствий значительной эмиссии продуктов горения для атмосферных процессов могут быть локальное понижение температуры воздуха во время пожаров и уменьшение количества дней с осадками в следующий месяц после интенсивных пожаров. Предварительная оценка показала уменьшение позитивной аномалии температуры с 0.7 до 0.1°C, а также уменьшение количества дней с осадками вдвое, при условии, что среднемесячные значения светопоглощающего аэрозольного индекса превысили 1.2.

**Ключевые слова:** пожары, эмиссия, сгоревшая доля, продукты горения, углерод, сухие частицы, аэрозольный индекс.

**Вступ.** Щороку Україна стикається з проблемою пожеж в екосистемах, переважна частина з яких є результатом недбалого поводження людей з вогнем на відкритій місцевості, умисних підпалів та «традиційного» випалювання сухого травостою на полях [1]. Враховуючи кліматичні зміни, що спостерігаються на території України, збільшується ймовірність виникнення пожеж у зв'язку з більшою повторюваністю пожежонебезпечних умов [2,3]. Пожежі в екосистемах призводять до ряду негативних наслідків, включаючи загибель рослинного та тваринного світу [4-6], деградації ґрунту [7,8], емісії значної кіль-

кості шкідливих домішок в атмосферу, що призводить до погіршення якості атмосферного повітря та впливу на здоров'я населення [9,10]. Не став виключенням і березень – квітень 2020 року, під час якого випалювання сухого травостою на полях та умисні підпали призвели до жакливих наслідків та займання лісів, в тому числі і в зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення навколо Чорнобильської АЕС [1,11].

Пожежі в екосистемах здійснюють вплив на атмосферу через зміни хімічного складу атмосфери (емісія продуктів горіння) [9,10], і через подальші процеси взаємодії продуктів горіння з

радіаційними потоками та під час процесів хмароутворення [12]. В Україні досліджень впливу пожеж на хімічний склад атмосфери, зазвичай, зводиться до вивчення лісових пожеж [13-15], вважаючи що кількість згорілої біомаси є визначальною у погіршенні якості атмосферного повітря. При цьому, практично недослідженим залишаються потоки речовини внаслідок пожеж на полях та супутні зміни забруднення атмосфери. Так як ліси займають лише 15.9% території України [16], емісія продуктів горіння внаслідок пожеж на землях аграрного призначення є вкрай недооціненими.

**Метою** даних досліджень є встановлення внеску пожеж в екосистемах території України на потоки хімічних складових в атмосферу та можливі зміни метеорологічних процесів.

**Вихідні дані та методика досліджень.** Для дослідження частки згорілої території та внеску лісових пожеж і на землях аграрного призначення використано глобальну базу даних емісії від пожеж (Global Fire Emission Database – GFED), зокрема її четверту версію (4s), що включає в себе інформацію про «малі» пожежі (small fires) [17-20]. Дані GFED4 представлені як квадрати з просторовою роздільною здатністю  $0.25 \times 0.25^\circ$ . Дані пожеж у GFED отримані із використанням продукту супутника MODIS для виявлення пожеж та згорілої частки під назвою MCD64A1, просторова роздільна здатність якого 500 м. Згоріла частка у квадраті розміром  $0.25 \times 0.25^\circ$  є відносним показником площі території, що опинилася під вогнем протягом одного місяця.

Аналіз емісії речовини в атмосферу внаслідок горіння біомаси здійснено за інвентаризацією емісії з бази даних GFED для вуглецю та сухої частки. Емісії представлені як середньомісячний показник. Прийнятими одиницями вимірювання потоків вуглецю в атмосферу є  $\text{г} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$ , тоді як сухої частки –  $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$ . Дані четвертої версії GFED4, охоплюють період 1997 – 2016 рр., що і стало основним періодом досліджень в даній роботі. На жаль, дані з 2017 р. ще проходять процес обробки та верифікації, проте оновлення версії до GFED5 очікується найближчим часом [21].

У роботі використано супутникові дані світлопоглинаючого аерозольного індексу (absorbing aerosol index (AAI)), що є хорошим індикатором наявності продуктів горіння в атмосфері. Більш того, за допомогою AAI можливо вивчати вплив на атмосферу, так як аерозоль визначає процеси хмароутворення та радіаційного перенесення. Використано дані супутникового приладу Ozone Monitoring Instrument (OMI) на супутнику Aura з просторовою роздільною здатністю  $1 \times 1^\circ$  [22] за період з жовтня 2004 до кінця 2016 року. Вибір

початку періоду обумовлений запуском супутникового приладу OMI та рішенням не використовувати дані попереднього приладу Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) через незгодженість сітки їх спостережень. Кінець періоду обрано з урахуванням кінця періоду бази GFED. AAI є лише частиною загального аерозольного індексу, що характеризується лише позитивними значеннями, в той час як загальний аерозольний індекс може мати негативні значення. Позитивні значення AAI свідчать про наявність вуглецевмісних аерозолів у своєму складі, що здатні поглинати сонячне випромінення. Негативні значення, що не використовуються для загального аерозольного індексу, відображають хмарність, сульфатні аерозолі, тощо.

З метою аналізу можливого впливу на атмосферні процеси, використано дані наземних метеорологічних спостережень на станціях обласних центрів України за період, що співпадає з періодом даних AAI – 2004–2016 рр. Дані наявні в архівах Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського. Враховуючи можливі впливи аерозолів, для досліджень обрано параметри, що могли зазнати потенційного впливу: температура повітря, бал хмарності, кількість днів з опадами більше 0 мм, та більше 5 мм. У зв'язку із прив'язкою усіх розрахунків до бази даних GFED, дані температури та хмарності осереднено за місяць, кількість днів із опадами взято для кожного місяця. Враховуючи сезонність метеорологічних характеристик, доцільно досліджувати не тільки безпосередньо виміряні метеорологічні величини, але й їх аномалії, тобто різницю від середніх значень. Це дозволяє в окремих випадках уникнути хибної залежності, обумовленою впливом сезонності на досліджувані показники. Середні значення для кожного місяця обчислено для обраного періоду досліджень, аномалії – різниця фактичних значень від розрахованих середніх багаторічних. Процедура обчислення аномалій проведена для температури повітря та хмарності.

Достовірність результатів статистичних обчислень, представлених у роботі, перевірено критеріями Стьюдента та Фішера із 95%-м рівнем забезпеченості результату.

**Результати досліджень. Характеристики просторово-часового розподілу пожеж в екосистемах.** Використовуючи дані GFED проаналізовано згорілу частку території у кожному з квадратів розміром  $0.25 \times 0.25^\circ$ . Загалом, у випадку пожежі в екосистемі в середньому спостерігається згорання 20–30% площі території (рис. 1А). В Українських Карпатах та вздовж берегової лінії, зазвичай, згорає менше 10%, на Поліссі – 10–30%. Існують осередки, переважно на Лівобереж-



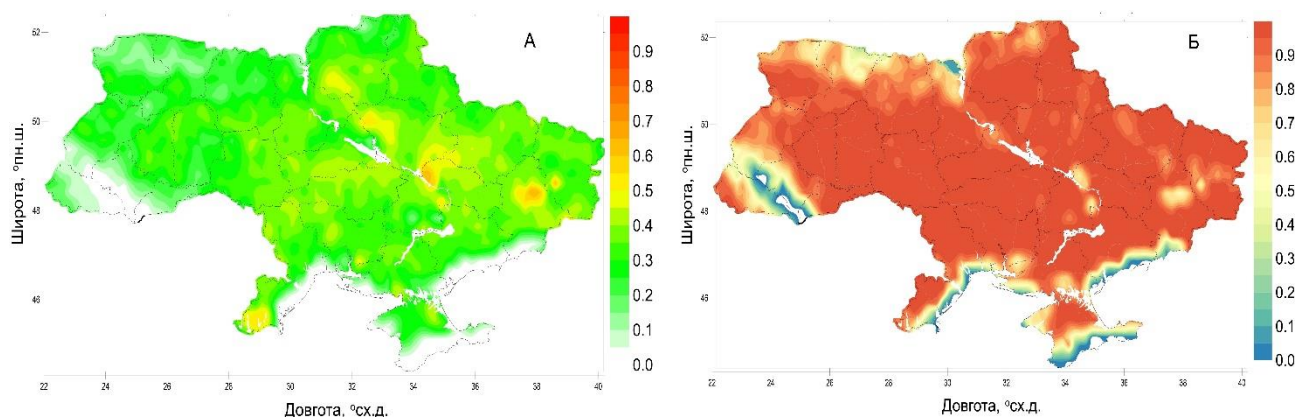


Рис. 1. Середня частка згорілої території у випадку пожежі (А) та частка пожеж на землях аграрного використання відносно загальної площі пожеж на території (Б)

ній частині України, де в середньому пожежі в екосистемах призводять до згорання більше 50% площі.

Частка пожеж, які припадають на землі аграрного використання, становлять більше 90% (рис. 1Б). Встановлено, що навіть у районах зі значним відсотком лісових насаджень, близько 50% згорілої площі припадає на «нелісові» землі. В цілому, на території України існують наступні райони, де пожежі на землях аграрного використання не є переважаючими: Українські Карпати, крайній північ Полісся, Чорнобильська зона відчуження, берегова лінія Чорного й Азовського морів, а також промислово навантажені райони.

Подібний розподіл частки згорілої площі свідчить про обов'язкову необхідність врахування пожеж на полях з метою оцінки потоків хімічних складових в атмосферне повітря. Незважаючи на суттєву більшу кількість згорілої біомаси у випадку лісових пожеж, просторове охоплення пожеж на землях аграрного використання може мати визначальний вплив на наявність продуктів горіння в атмосферному повітрі.

У річному ході повторюваності, поширення та потужності пожеж в екосистемах спостерігається не тільки залежність від сезонності та метеорологічних умов, але й від особливостей господарської діяльності населення. Очевидно, що у період з листопада до лютого практично не спостерігається пожеж в екосистемах. Проте, у березні – квітні різко зростає кількість пожеж, для яких характерно саме значне просторове охоплення по всій території України, а згоріла частка часто характеризується найбільшими значеннями у році. Причиною появи першого максимуму кількості пожеж є практика спалювання сухого травостою на полях. Після зменшення кількості пожеж у травні – червні, спостерігаються максимуми липня–серпня, пов'язані із сприятливими метеорологічними умовами: високими температурами, низьким вологовмістом атмосфери та

грунту. У вересні – жовтні кількість пожеж зменшується, проте знову може спостерігатися збільшення просторового охоплення, причиною якого є господарська діяльність населення та спалювання на полях.

Найбільші площі охоплені пожежами спостерігалися у 2001 та 2008 рр. Проте, мова йде саме про масштабність просторового охоплення: потужніші, але більш локалізовані пожежі спостерігалися у 1999, 2005, 2007 та 2012 рр. у різних регіонах території України. У 2003 р. спостерігається абсолютний мінімум усіх характеристик пожеж в екосистемах за досліджуваний період.

Тенденції зміни частки згорілої площі відрізняються залежно від регіону, при цьому за досліджуваний період спостерігаються ділянки зі статистично значущими позитивними та негативними трендами (рис. 2).

Найбільшого занепокоєння викликають території західної України, де не спостерігається тенденції до зменшення площі пожеж в екосистемах. На окремих ділянках виявлено збільшення площі під пожежами на 60–80% у перерахунку на 10 років. В цілому, значущі позитивні тренди площі пожеж в екосистемах спостерігаються у Львівській, Тернопільській, Хмельницькій, Рівненській, Житомирській, Чернігівській, Вінницькій, Одеській, Донецькій та Луганській областях. Для областей центральної України характерне зменшення площі пожеж, досягаючи на окремих ділянках 60% за 10 років. Подібні тенденції найбільше характерні для Київської, Черкаської, Кіровоградської, Дніпропетровської та Миколаївської областей.

**Емісія речовини в атмосферу.** Використовуючи інвентаризацію емісії речовини з бази GFED4, виявлено особливості змін хімічного складу атмосфери через емісію вуглецю та сухої частки внаслідок горіння біомаси. Загалом, спостерігається подібний просторовий розподіл обох потоків речовин (рис. 3).

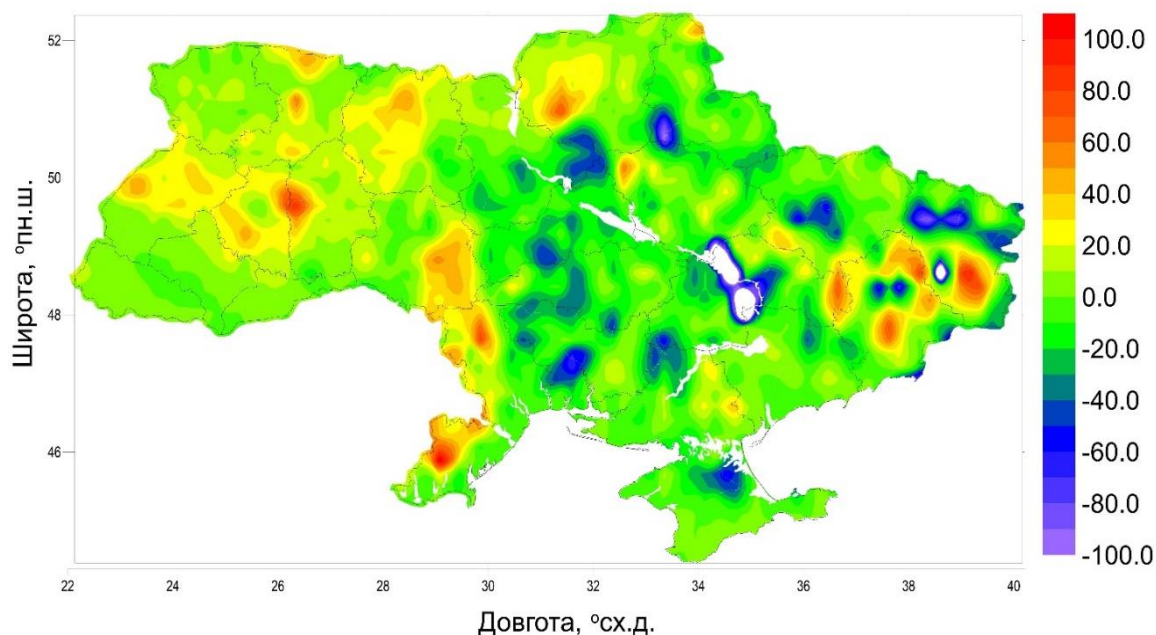


Рис. 2. Тенденції зміни площі пожеж в екосистемах (у перерахунку на % за 10 років)

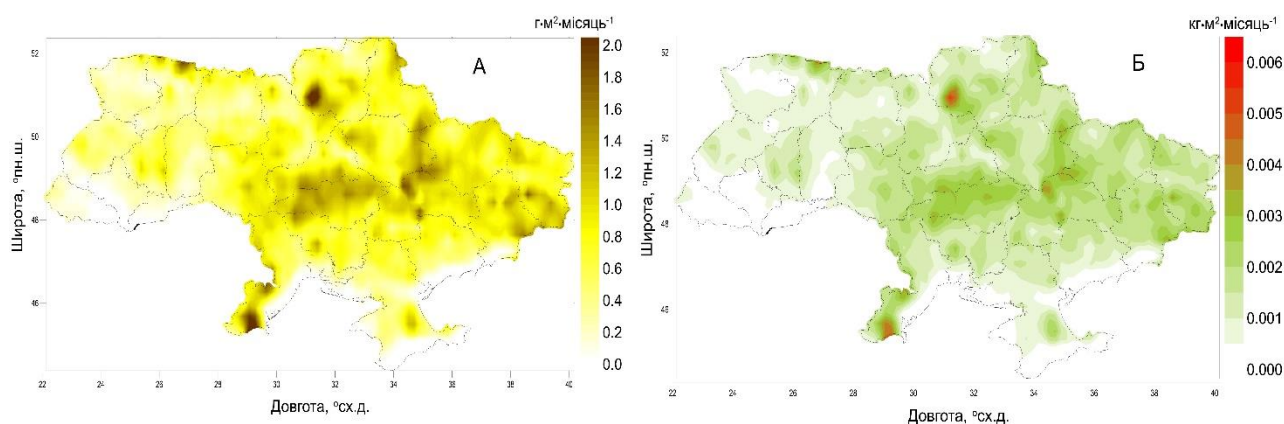


Рис. 3. Середня багаторічна емісія вуглецю (А) та сухої частки (Б) в атмосферу внаслідок горіння біомаси

Емісія на території України відбувається вкрай неоднорідно, характеризуючись чіткими локальними максимумами. Такі максимума найчастіше узгоджуються із часткою згорілої площі (рис. 1А), проте невідповідності існують в районах поширення лісів. Причина невідповідності в заліснених районах очевидна – більше біомаси на одиничну ділянку. Таким чином незначні за площею пожежі призводять до більш потужної емісії хімічних складових.

Середні багаторічні значення емісії вуглецю для території України переважно варіюють в межах  $0.2\text{--}1.0\text{ г}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$ . Для потоків сухої частки середні значення складають переважно  $0.001\text{--}0.003\text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$ . Найменша емісія речовини спостерігається вздовж берегової лінії та на заході України. Проте, ситуація у західних районах може значно погіршитися у зв'язку із стрімкою тенденцією до збільшення площі горіння. У цен-

тральних районах України емісія вуглецю та сухої частки внаслідок горіння біомаси значно більша:  $1.4\text{--}1.8\text{ г}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$  та  $0.003\text{--}0.004\text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$  відповідно. Саме центральна Україна характеризується однією із найбільших часток згорілої площі, при цьому емісія відбувається саме із земель аграрного використання. Враховуючи тенденції до зменшення згорілої площі, очікуємо зменшення емісії речовини внаслідок горіння біомаси у центральних районах та, цілком ймовірно, вирівнювання внеску у потоки речовини із західними районами.

Для території України характерні три локалізації потужної емісії продуктів горіння в атмосферу, де середні потоки вуглецю перевищують  $1.8\text{ г}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$ , а потоки сухої частки –  $0.005\text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{місяць}^{-1}$ . Серед найбільших локалізацій емісії речовини добре вивченими є процеси на крайньому півночі території України. Це лісові

пожежі, що спостерігаються на Поліссі, при цьому пожежі спостерігалися там і в останні 2 роки. У 2020 р. в період з середини березня до середини квітня вони зумовили неодноразове погіршення якості атмосферного повітря в Україні [11], а у 2019 р. стали причиною одного із найбільших потоків моноξειду вуглецю в атмосферу [23]. Ще дві локалізації поблизу м. Козелець та на півдні Одеської області викликають запитання, адже спалювання там відбувається у набагато більших масштабах, ніж навколишніх районах. І хоча, потрібно мати на увазі, що модельні розрахунки можуть мати неточності, проте систематичність появи великої частки згорілої площі у цих двох локалізаціях та повторення там пожеж у 2020 р. [1] свідчать про реальну велику емісію продуктів горіння в атмосферу.

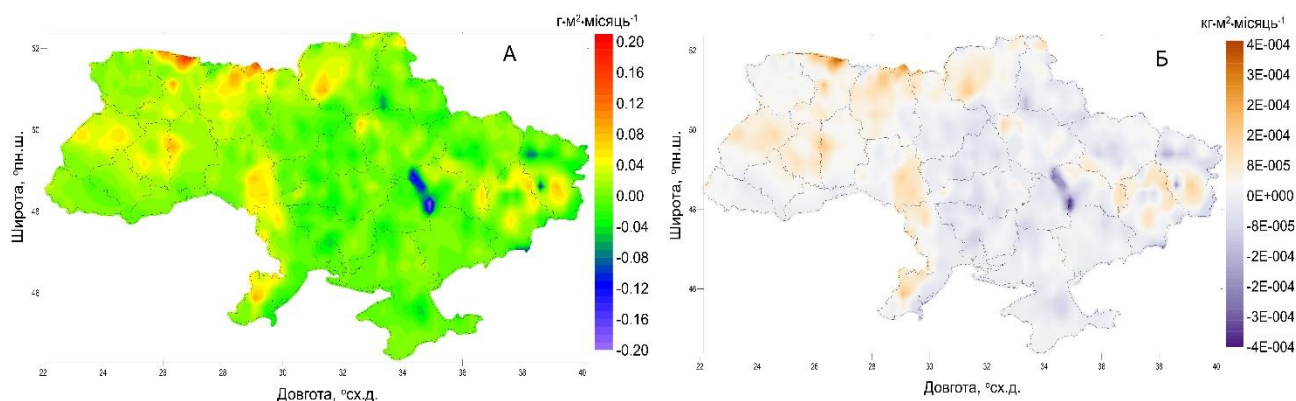


Рис. 4. Тенденції зміни емісії вуглецю (А) та сухої частки (Б) в атмосферу внаслідок горіння біомаси

Емісія продуктів горіння в атмосферу характеризується чіткими сезонними змінами, пов'язаними із сільськогосподарським випалюванням та сезонністю пожеж. Середні багаторічні значення для кожного місяця весняного, літнього та осіннього сезонів наведені у Додатках 1 та 2. Чітко виокремлюються два періоди інтенсивних пожеж та емісії продуктів горіння: березень – квітень та липень – вересень. Навесні найбільший потік хімічних домішок у атмосферне повітря спостерігається на північних територіях України, досягаючи  $0.01 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$  для сухої частки (Додаток 1) та  $3.6 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$  для вуглецю (Додаток 2). Після дуже незначної емісії у травні – червні, спостерігаються максимальні значення липня – серпня, досягаючи найбільшої емісії на півдні території України: для сухої частки  $0.014 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$  та для вуглецю  $4.8 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$ .

Найбільша емісія речовин за досліджуваний період спостерігалася у 2008р., коли і частка згорілої площі набула найбільшого поширення. Внаслідок значного охоплення території пожежами на землях аграрного використання, емісія вуглецю та сухої частки була значною у 2001,

Отримані результати за емісіями вуглецю та сухої частки підтверджують, що викиди від спалювання на полях в Україні співставні за об'ємами із викидами від лісових пожеж. При цьому, площа, охоплена такими викидами у рази перевищує площу, з яких спостерігається емісія від лісових пожеж, а отже і кількість населення, що зазнає негативного впливу, значно більша.

Розрахунок та аналіз багаторічних тенденцій зміни потоку вуглецю та сухої частки показують найбільш негативні наслідки на крайньому півночі території України, де тренди емісії досягають найвищих значень (рис. 4). При цьому тренд потоків вуглецю досягає  $0.2 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$ , а потоків сухої частки  $4\cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$ , що у перерахунку на 10 років досягає  $24 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$  та  $0.05 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{місяць}^{-1}$  відповідно.

2005, 2006, 2007, 2009, 2011 та 2014 рр. На півночі території України у зоні Полісся значна емісія спостерігалася у 2002 та 2015 рр.

З метою пошуку зв'язку модельних даних емісії речовини зі змінами фактичних значень хімічного складу атмосфери та подальшими дослідженнями впливу на атмосферні процеси, проаналізовано дані супутникових спостережень за ААІ. Суха частка та вуглець, отримані з модельних даних GFED не мають ідентичного показника за даними фактичних спостережень. Тому для порівняння та дослідження зв'язку із реальними даними використано потік сухої частки та дані ААІ супутника ОМІ, як найбільш подібних із показників, що можливо порівняти між собою. Ускладнює порівняння і той факт, що модель враховує виключно емісію внаслідок горіння біомаси під час пожеж в екосистемах, тоді як аерозоль в атмосфері, що вимірюється супутниковими даними, характеризується різноманітністю джерел надходження, в тому числі й антропогенних.

Просторовий аналіз даних ААІ із даними згорілої частки з GFED показали просторове узгодження в районах найбільш інтенсивних по-

жеж. При цьому, дані супутникових спостережень вловлюють усі значні емісії продуктів горіння. Незважаючи на наявність зв'язку за візуальним аналізом просторового розподілу показників, за попереднім пошуком чисельної залежності однозначних результатів отримати не вдалося. Проведення детального аналізу за різними регіонами найбільш інтенсивних пожеж в екосистемах дозволило виділити чіткий та статистично надійний зв'язок між емісією сухої частки та ААІ. Так як емісія продуктів горіння від пожеж на землях аграрного призначення відрізняється від емісії лісових пожеж, було відділено такі райони один від одного. Для дослідження зв'язку у випадку лісових пожеж, виділено три точки на крайньому півночі території України, що потрапляють на зону лісів у Волинській, Рівненській

та Житомирській областях. Для аналізу випадків пожеж на землях аграрного призначення, обрано три точки на зону центральної України, де середня згоріла частка сільськогосподарських земель досягає 90% – у Черкаській, Дніпропетровській та Кіровоградській областях. Для обох територій, зв'язок між модельними даними емісії сухої частки та фактичними даними супутникових спостережень за ААІ наявний у випадку емісії більше ніж  $0.005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$  (рис. 5). Більш того, в обох випадках коефіцієнт кореляції між показниками є статистично надійним та складає близько 0.65. Кожна точка на рис.5 відображає один місяць, коли спостерігалася значна емісія сухої частки та відповідні значення осередненого за місяць ААІ.

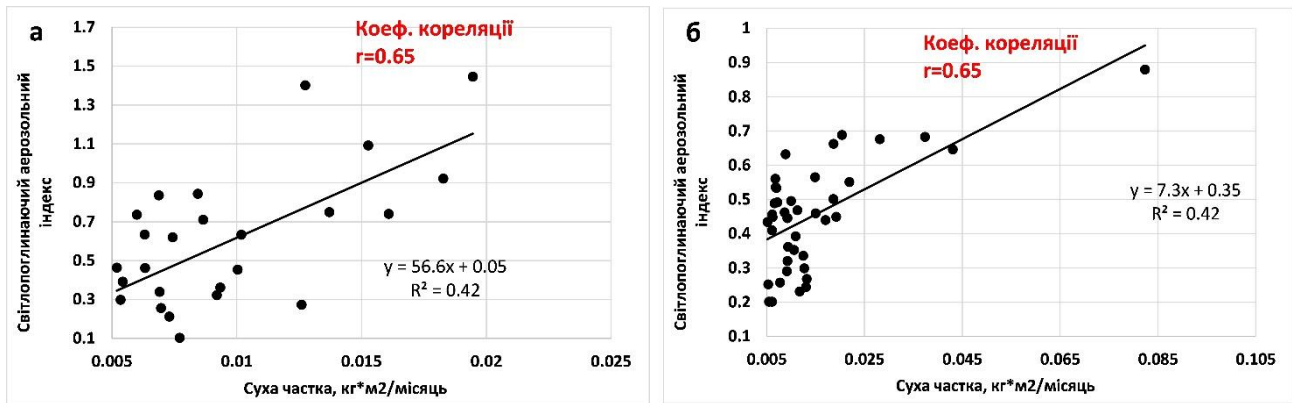


Рис. 5. Зв'язок емісії сухої частки модельних даних та ААІ супутникових спостережень для північних (а) та центральних (б) районів України

В цілому, над усією територією України ААІ зі значеннями більше 0.2 починає відображати наявність продуктів горіння в атмосфері, що найчастіше відповідає емісіям сухої частки близько  $0.005 - 0.01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$ . В середньому, за умови емісії більше  $0.015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$ , ААІ перевищує 0.4; при потоках речовини більше  $0.02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$  ААІ перевищує 0.6.

Загалом, ААІ є хорошим індикатором емісії продуктів горіння в атмосферу спричинених пожежами в екосистемах, та при значеннях більше 0.4 може використовуватися для вивчення взаємозв'язків емісії внаслідок пожеж та перебігу атмосферних процесів, зокрема поглинання/розсіювання сонячної радіації, процесів опадоутворення та численних прямих і непрямих ефектів.

**Можливі наслідки для атмосферних процесів.** Для дослідження реакції атмосфери на надходження значної емісії продуктів горіння внаслідок пожеж в екосистемах використано дані спостережень на метеорологічних станціях усіх обласних центрів України, наявні в архівах Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса

Срезневського. Дані ААІ отримано для точок, що координатно співпадають із обласними центрами України. Незважаючи на те, що пожежі в екосистемах відбуваються на деякій віддалі від місць проведення метеорологічних спостережень, дослідження реальних інтегральних місячних метеорологічних параметрів та вмісту аерозолу на деякій відстані від пожеж вважаємо більш доцільним, аніж використання модельних даних реаналізу у точках, що близькі до місць горіння.

З огляду на результати вище описаних обчислень, усі середньомісячні метеорологічні показники досліджувалися за умови значної емісії внаслідок пожеж в екосистемах та перевищення середньомісячних значень ААІ 0.4 над точкою спостережень. Подібна фільтрація суттєво зменшує довжину рядів спостережень у точці, що може мати наслідки для отримання статистично надійних результатів. Тому, для усієї території України зібрано усі випадки, коли спостерігалася емісія сухої частки більше  $0.005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$ , а середньомісячний вміст світлопоглинаючих аерозолів над обласним центром перевищував  $\text{AAI} > 0.4$ . Такі випадки об'єднано у єдиний масив

даних, який містить 317 випадків, та суттєво збільшує достовірність отриманих результатів. Враховуючи використання середньомісячних значень та відносну рівномірність розташування обласних центрів на території України, отриманий масив містить у собі повну варіативність погодних умов, просторове покриття та сезонні особливості. Це дозволяє отримати узагальнені закономірності для території України.

В результаті дослідження зміни метеорологічних параметрів протягом місяців зі значними емісіями продуктів горіння та у наступний місяць, виявлено відгук температурних умов та кількості днів із опадами на наявність продуктів горіння в атмосфері та підвищених значень ААІ (рис. 6). Загалом, у місяць, коли спостерігається потужна емісія речовини внаслідок пожеж, тем-

пература повітря характеризується позитивними аномаліями (рис. 6б). Це є логічним проявом залежності пожежонебезпечних умов від температури. Проте, збільшення емісії сухої частки поблизу точки метеорологічних спостережень більше  $0.015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{місяць}^{-1}$  та вмісту світлопоглинаючих аерозолів в атмосфері більше  $\text{AAI} > 0.9$  призводить до зменшення позитивної аномалії температури повітря. За ААІ в межах 0.9–1.2 позитивна температурна аномалія знижується з  $0.7^\circ\text{C}$  до  $0.3\text{--}0.4^\circ\text{C}$ , а у випадку ААІ більше 1.2 – до  $0.1^\circ\text{C}$ . Тобто, за пожеж в екосистемах, що призводять до дуже потужної емісії речовини в атмосферу, спостерігається локальне зниження температури повітря, внаслідок більшої кількості аерозолів в атмосфері, що зменшує надходження прямої сонячної радіації на земну поверхню.

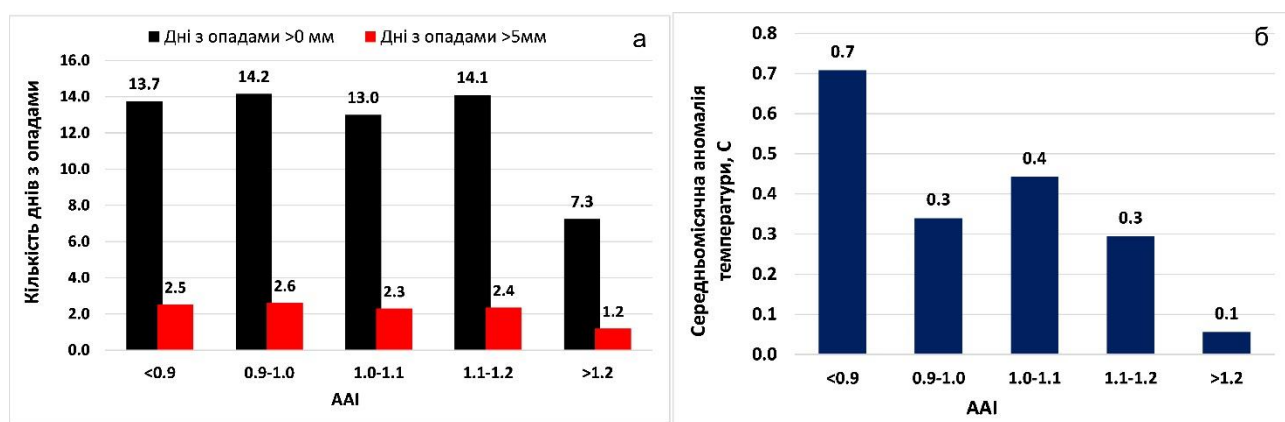


Рис. 6. Осереднене значення кількості днів із опадами на наступний місяць після емісії продуктів горіння (а) та середньомісячна аномалія температури у місяць зі значною емісією (б) за різних значень ААІ

У наступний місяць після емісії речовини внаслідок горіння біомаси спостерігається локальне зменшення кількості днів із опадами (рис. 6а). За ААІ більше 1.2 кількість днів з опадами більше 0 мм зменшується вдвічі – з 13-14 днів до 7 днів, а кількість днів з опадами більше 5 мм – з 2-3 днів до 1 дня. Хмарність, при цьому, також характеризується незначним відгуком, зменшуючись в середньому на 10–20%. Причина зменшення кількості опадів, ймовірно, пов'язана з фізико-хімічними особливостями аерозолів різного походження. В цілому, аерозолі є ядрами конденсації, що сприяють хмароутворенню та збільшенню кількості опадів. Проте, хімічний склад аерозолів, що утворюються в результаті горіння біомаси та містять вуглець, не є ядрами конденсації. Сучасними дослідженнями у різних частинах планети [12,24,25] підтверджується можливість зменшення кількості опадів внаслідок потрапляння великої кількості продуктів горіння біомаси в атмосферу.

**Обговорення.** Отримані результати досліджень свідчать про недооцінку впливу пожеж на

землях аграрного призначення на емісію продуктів горіння в атмосферу у порівнянні з лісовими пожежами. У той час як спалювання сухого травостою викликає обговорення переважно з точки зору негативного впливу на ґрунти, вплив на поширення продуктів горіння в атмосферу залишається недостатньо представленим. Враховуючи активну позицію уряду щодо вирішення проблеми випалювання на полях [26,27], розширення подібних досліджень іншими науковцями щодо емісії речовини внаслідок горіння та подальшого впливу на якість атмосферного повітря має можливість бути використаними під час формування планів дій та відповідних рішень.

Результати досліджень щодо можливого впливу емісії продуктів горіння на зміни атмосферних процесів потребують подальшого аналізу та залучення методів хіміко-метеорологічного моделювання. Отримані у роботі залежності температури повітря та опадів мають теоретичне підґрунтя та не суперечать останнім дослідженням [12,24,25]. Проте, автори вважають, що практичне використання отриманих числових

закономірностей можливе після підтверджень інтегрованим моделюванням із залученням схем, що враховуються прямі та непрямі ефекти аерозолію різного хімічного складу. У даній роботі ж отримано необхідний емпіричний матеріал для порівняння із результатами інтегрованого хіміко-метеорологічного моделювання, та покращення обчислювальних схем, що враховують поведінку аерозолію в атмосфері.

**Прикінцева примітка.** У квітні 2020 р., незважаючи на численні лісові пожежі та кількаразове погіршення якості атмосферного повітря над різними районами території України, середньомісячне значення ААІ у жодній точці не перевищило 0.9. Цьому сприяли різнонаправленість вітру протягом місяця та зміна осередків найбільш активних пожеж. Таким чином, пожежі квітня 2020 р. не підпадають під категорію тих, за якими можливо досліджувати закономірності впливу на атмосферу, знайдених у даній роботі.

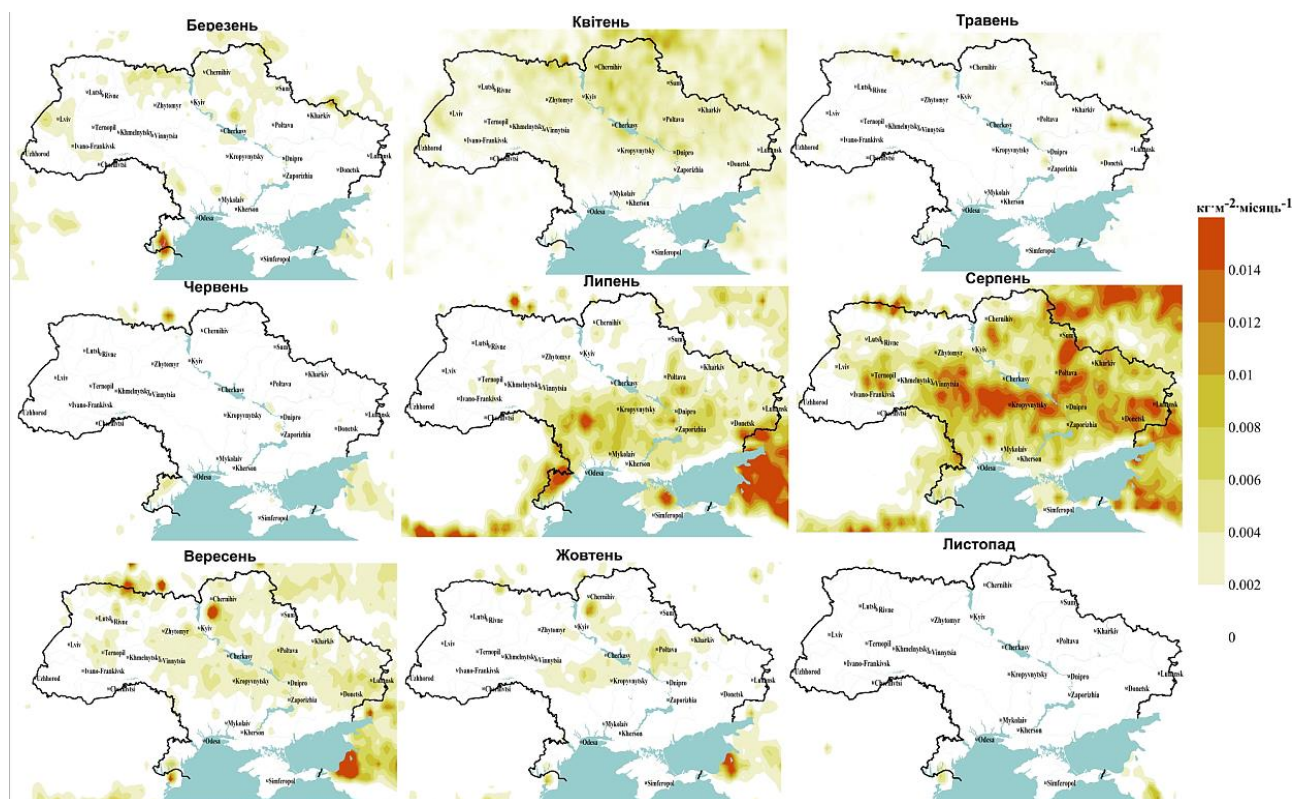
**Висновки.** Пожежі в екосистемах призводять до вигорання близько 10–30% території, у випадку поширення вогню. В середньому на території України, близько 90% згорілої частки припадає на землі аграрного призначення. Тенденції до збільшення згорілої частки характерні для західних та північних територій України. Основними періодами пожеж є березень – кві-

тень та липень – вересень, що й визначають емісію продуктів горіння в атмосферу. Найбільші емісії вуглецю та сухої частки характерні для лісів Полісся, досягаючи  $2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{місяць}^{-1}$  та  $0.005 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{місяць}^{-1}$  відповідно, проте найбільше поширення продукти горіння відбувається внаслідок пожеж на землях аграрного призначення. Світлопоглинаючий аерозольний індекс може бути використаний як індикатор продуктів горіння в атмосфері за умови використання значень від 0.2–0.4. Серед можливих наслідків значної емісії продуктів горіння в атмосферу є короткострокове локальне зменшення позитивних аномалій температури повітря та зменшення вдвічі кількості опадів у наступний місяць після пожеж в екосистемах. У подальших дослідженнях авторами буде використано онлайн-інтегроване хіміко-метеорологічне моделювання випадків з пожежами в екосистемі для вивчення прямих та непрямих ефектів аерозолію в атмосфері.

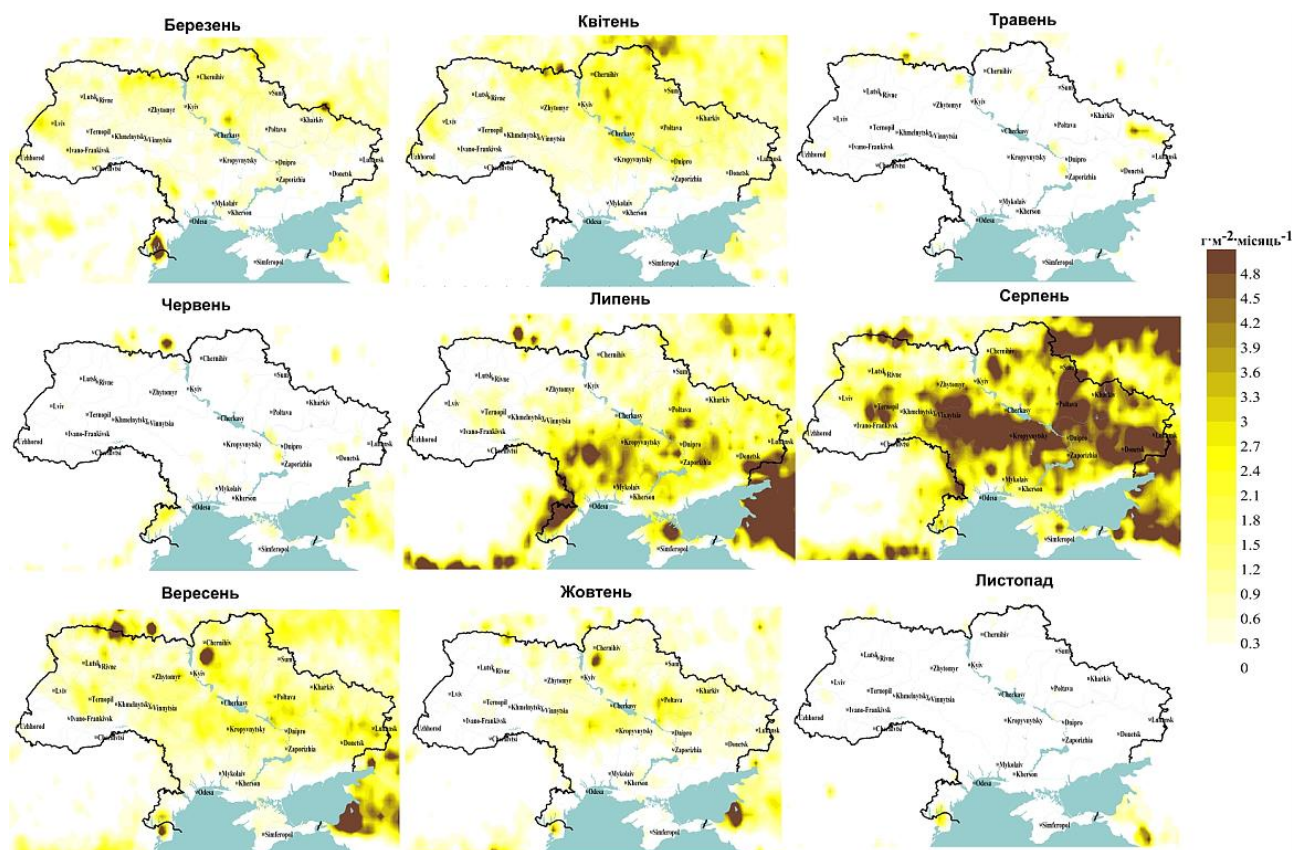
**Подяки.** Дослідження проведені в рамках проекту Enviro-PEEX on ECMWF: «Pan-Eurasian EXperiment (PEEX) Modelling Platform research and development for online coupled integrated meteorology-chemistry-aerosols feedbacks and interactions in weather, climate and atmospheric composition multi-scale modelling» (2018–2020)

Додаток 1

Середня багаторічна емісія сухої частки для березня – листопада



## Середня багаторічна емісія вуглецю для березня – листопада



## Література

1. Статистика пожеж. ДСНС України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/Statistika.html> (Дата звернення: 27.04.2020)
2. Балабух В.О., Зібцев С.В. Вплив зміни клімату на кількість та площу лісових пожеж у північно-чорноморському регіоні України [Текст]/ В.О. Балабух, С.В. Зібцев// Український гідрометеорологічний журнал. – 2016. - №18. – С. 60-71. [<https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07>]
3. Balabukh V. Impact of climate change on natural fire danger in Ukraine [Text]/ V. Balabukh, L. Malyska// Idojaras. – 2017. – 4(121). – P. 453-477
4. Гуменюк В. Вплив низової пожежі на соснові деревостани у зоні Центрального Полісся України [Текст]/ В. Гуменюк, Д. Голяка, С. Зібцев// Науковий вісник НІТУ України. – 2015. – №25(9). – С. 41-49. [<https://doi.org/10.15421/40250907>]
5. Brown J.K. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora [Text]/ J.K. Brown, J.K. Smith// USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. – 2000. – Vol. 2. – p. 257
6. Nasi R. Forest Fire and Biological Diversity [Text]/ R. Nasi, R. Dennis, E. Meijaard, G. Applegate, P. Moore// Unasylva. – 2002. – Vol. 53(209). – P. 36-40.
7. Малиновская И.М. Влияние пожара на состояние микробиоценоза почвы восьми- и двадцатилетних залежей [Текст]/ И.М. Малиновская// Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2012. - №(1). – С.20-24. [<https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.05>]
8. Neary D.G. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water [Text]/ D.G. Neary, K.C. Ryan, L.F. De Bano// Gen. Tech. Rep. – 2008. – Vol. 4. – 250 p.
9. Andreae, M.O. Emissions of trace gases and aerosol from biomass burning [Text]/ M.O. Andreae, P. Merlet// Global Biogeochem. Cy. – 2001. – Vol. 15. –P. 955–966.
10. van der Werf, G.R. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004 [Text]/ G.R. van der Werf, J.T. Randerson, L. Giglio, G.J. Collatz, P.S. Kasibhatla, A.F. Arellano// Atmos. Chem. Phys. – 2006. – Vol. 6 – P. 3423–3441.
11. Звітна інформація за моніторингом пожеж. УкрГМІ ДСНС України та НАН України [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://uhmi.org.ua/msg/fire2020/> (Дата звернення: 29.04.2020)
12. Whang Y. New Directions: Light absorbing aerosols and their atmospheric impacts [Text]/ Y. Whang, A. Khalizov, M. Levy, R. Zhang// Atmospheric Environment. – 2013. – Vol. 81. – P. 713-715

13. Галицька Є.І. Динаміка аерозолів у атмосфері над східною Європою за даними Aeronet під впливом погодних умов протягом літа 2010 [Текст]/ Є.І. Галицька, В.О. Данилевський, С.І. Сніжко// Український гідрометеорологічний журнал. – 2016. – №17. – С. 5-16
14. Galytska E. Increased Aerosol Content in the Atmosphere over Ukraine During Summer 2010 [Text]/ E. Galytska, V. Danylevsky, R. Hommel, J.P. Burrows// Atmospheric Measurement Techniques. – 2018. – Vol. 11. – P. 2101-2118. [<https://doi.org/10.5194/amt-11-2101-2018>]
15. Mahura A. Integrated Multi-Scale Modelling for Meteorology-Chemistry-Aerosol Interactions [Text]/ A. Mahura, R. Nuterman, G. Nerobelov, M. Sedeeva, S. Smyshlyayev, M. Savenets, L. Pysarenko, S. Krakovska, S. Ivanov, S. Michaelide, I. Ruban, A.S. Sassi, R. Makkonen, A. Baklanov, T. Petaja, S. Zilitinkevich, M. Kulmala// Report Series in Aerosol Science. – 2019. – Vol. 226. – P. 425-429
16. Загальна характеристика лісів України. Державне агентство лісових ресурсів України. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art\\_id=62921&cat\\_id=32867](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867) (Дата звернення: 28.04.2020)
17. Giglio L. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4) [Text]/ L. Giglio, J.T. Randerson, G.R. van der Werf// JGR Biogeosciences. – 2013. – Vol. 11(1). – P. 317-328. [<https://doi.org/10.1002/jgrg.20042>]
18. Global Fire Emission Database [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://www.globalfiredata.org/index.html> (Дата звернення: 26.04.2020)
19. Randerson J.T. Global burned area and biomass burning emissions from small fires [Text] / J.T. Randerson, Y. Chen, G.R. van der Werf, B.M. Rogers, D.C. Morton// JGR Biogeosciences. – 2012. – Vol. 11(17). [<https://doi.org/10.1029/2012JG002128>]
20. van der Werf G.R. Global fire emissions estimates during 1997–2016 [Text]/ G.R. van der Werf, J.T. Randerson, L. Giglio, T.T. van Leeuwen, Y. Chen, B.M. Rogers, M. Mu, M. J.E. van Marle, D.C. Morton, G. J. Collatz, R.J. Yokelson, P.S. Kasibhatla// Earth Syst. Sci. Data. – 2017. – Vol. 9. – P. 697–720. [<https://doi.org/10.5194/essd-9-697-2017>]
21. GFED Fire Monitoring. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://tfei.citepa.org/images/files/2019-10-22-23-24/3.%20MARINELAND-UN-FIRE-WORSHOP-242019.pdf> (Дата звернення: 21.04.2020)
22. OMI Aura Atmospheric Chemistry. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html> (Дата звернення: 21.04.2020)
23. Савенець, М. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P [Текст]/ М. Савенець, І. Дворецька, Л. Надточій // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2019. – Вип. 51. – С. 221-233. [<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>]
24. Yoon J.-H. The role of carbonaceous aerosols on short-term variations of precipitation over North Africa [Text] / J.-H. Yoon, P.J. Rasch, H. Wang, V. Vinoj, D. Ganguly// Atmospheric Science Letters. – 2016. – Vol. 17(7). – P. 407-414. [<https://doi.org/10.1002/asl.672>]
25. Zeng N. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought [Text] / N. Zeng, J.-H. Yoon, J.A. Marengo, A. Subramaniam, C.A. Nobre, A. Mariotti, J.D. Neelin// Environmental Research Letters. – 2008. – Vol. 3. – P. 014002 [<https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014002>]
26. Ініціативи щодо посилення відповідальності за підпали сухої рослинності. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/35054.html> (Дата звернення: 30.04.2020)
27. Штрафи за спалення рослинності. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/35078.html> (Дата звернення: 30.04.2020)

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.



UDC 551.510/.509.68+ 614.841.42

**Larysa Pysarenko,**

Junior Researcher, Department of Applied Meteorology and Climatology,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute of SESU and NASU,  
37, Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine,

e-mail: [larpys@uhmi.org.ua](mailto:larpys@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2885-0213>;

**Mykhailo Savenets,**

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Atmosphere Monitoring,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute of SESU and NASU,

e-mail: [savenetsm@gmail.com](mailto:savenetsm@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

## FIRES IN ECOSYSTEMS AND INFLUENCE ON THE ATMOSPHERE

**Introduction.** Fires in ecosystems, mostly after open burning, affect Ukrainian territory each year causing flora and fauna damage, soil degradation, pollutants emission, which impact air quality and human health. Fires influence the atmosphere by adding burned products and its further direct and indirect effects. Despite majority of fires are open burning, research of forest fire emissions prevail among Ukrainian scientists. Therefore, **the study aimed** to analyze the influence of all-type fires in Ukrainian ecosystems on substances fluxes to the atmosphere and possible changes of meteorological processes.

**Data and methodology.** The study uses GFED4 data and inventories for analyses of forest and agricultural burned fraction, carbon and dry matter emissions for the period of 1997–2016. Additional data includes absorbed aerosol index derived from OMI (Aura) instrument and ground-based meteorological measurements.

**Results.** Burning fraction indicates the 10 to 30% of area influencing in case of active fires. More than 90% of fires in Ukrainian ecosystems happened on the agricultural lands. The highest trends of active fires appear on the western and northern part of Ukraine, whereas burned fraction on the central territories reached up to 60% decreasing per decade. Most fires happened during two periods: March – April and July – September. The most severe fires occurred in 1999, 2001, 2005, 2007, 2008 and 2012.

Average emissions in Ukraine vary from 0.2 to 1.0 g·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup> for carbon and from 0.001 to 0.003 kg·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup> for dry matter. There are three localizations of huge burning products emissions, where maximal average values reach 1.8 g·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup> for carbon and 0.005 kg·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup> for dry matter. The biggest one occurred in the Polissia forest region. Despite the maximal emission from forest fires, open burning results the biggest coverage and air quality deteriorating.

Absorbing aerosol index (AAI) could be good indicator of fires in Ukrainian ecosystems and burning products emissions. Overall, AAI with values more than 0.2 correspond to dry matter emissions of 0.005–0.01 kg·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup>. If AAI exceed 0.4 usual dry matter emissions exceed 0.02 kg·m<sup>2</sup>·month<sup>-1</sup>.

The study finds local scale changes of air temperature and days with precipitation due to huge burning products emissions. In case of monthly average AAI exceed 1.2 during fires events, positive air temperature anomaly at the ground decrease from 0.7 to 0.1°C. The main reason is absorption of solar radiation in the atmosphere. During the next month after intensive fires in ecosystems, days with precipitation have twofold decrease: from 13-14 to 7 days with precipitation more than 0 mm, and from 2-3 to 1 day with precipitation more than 5 mm. The reason might be changes of cloudiness formation due to elevated concentrations of carbonaceous aerosols. The results obtained for atmospheric changes is planned to be verified and compared using online integrated atmospheric modelling.

**Keywords:** fires, emission, burned fraction, burning products, carbon, dry matter, aerosol index

### References

1. Fires statistics. State Emergency Service of Ukraine. Available at: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/Statistika.html>
2. Balabukh, V. O., Zibtsev, S. V. (2016). Impact of climate change on quantity and area of forest fires in the northern part of the Black Sea Region of Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (18), 60-71. [<https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07>]
3. Balabukh V., Malyska L. Impact of climate change on natural fire danger in Ukraine. *Idojaras*. 2017. 4(121): 453-477.
4. Gumeniuk, V., Golyaka, D., Zibtsev, S. (2015). Ground Fire Effects on Pine Stands of Central Polissya of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(9), 41-49. [<https://doi.org/10.15421/40250907>]
5. Brown J.K., Smith J. K. (2000). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep.*, (2), 257.

6. Nasi R., Dennis R., Meijaard E., Applegate G., Moore P. (2002). *Forest Fire and Biological Diversity*. *Unasylva*, 53(209), 36-40.
7. Malinovskaya I.M. (2012). *An influence of fire upon the soil microbiocoenosis state of lea lands of not enough and long standing*. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (1), 20-24. [<https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.05>]
8. Neary D.G., Ryan K.C.; De Bano L.F. (2008). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. *Gen. Tech. Rep.*, (4), 250.
9. Andreae M.O., Merlet P. (2001). *Emissions of trace gases and aerosol from biomass burning*. *Global Biogeochem. Cy.*, (15), 955–966.
10. van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Kasibhatla P.S., Arellano, A.F. Jr. (2006). *Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004*. *Atmos. Chem. Phys.*, (6), 3423–3441.
11. *Report on wildfire monitoring. UHMI of SESU and NASU*. Available at: <https://uhmi.org.ua/msg/fire2020/>
12. Whang, Y., Khalizov, A., Levy, M., Zhang, R. (2013). *New Directions: Light absorbing aerosols and their atmospheric impacts*. *Atmospheric Environment*, (81), 713-715.
13. Galytska E., Danylevsky V., Snizhko S. (2016) *Aerosols dynamics in the atmosphere over Eastern Europe by means of AERONET according to weather conditions during summer 2010*. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (17): 5-16.
14. Galytska E., Danylevsky V., Hommel R., Burrows J.P. (2018) *Increased Aerosol Content in the Atmosphere over Ukraine During Summer 2010*. *Atmospheric Measurement Techniques*, (11), 2101-2118. [<https://doi.org/10.5194/amt-11-2101-2018>]
15. Mahura A., Nuterman R., Nerobelov G., Sedeeva M., Smyshlyaev S., Savenets M., Pysarenko L., Krakovska S., Ivanov S., Michaelides S., Ruban I., Sassi A.S., Makkonen R., Baklanov A., Petaja T., Zilitinkevich S., Kulmala M. (2019) *Integrated Multi-Scale Modelling for Meteorology-Chemistry-Aerosol Interactions*. *Report Series in Aerosol Science*, (226), 425-429
16. *The general features of Ukrainian forests*. The State Forest Resources Agency of Ukraine. Available at: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art\\_id=62921&cat\\_id=32867](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867)
17. Giglio L., Randerson J.T., van der Werf G.R. (2013). *Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4)*. *JGR Biogeosciences*. 118(1), 317-328. [<https://doi.org/10.1002/jgrg.20042>]
18. *Global Fire Emission Database*. Available at: <https://www.globalfiredata.org/index.html>
19. Randerson J.T., Chen Y., van der Werf G.R., Rogers B.M., Morton D.C. (2012). *Global burned area and biomass burning emissions from small fires*. *JGR Biogeosciences*, 117(G4). [<https://doi.org/10.1029/2012JG002128>]
20. van der Werf G.R., Randerson, T., Giglio L., van Leeuwen, T.T., Chen, Y., Rogers, B.M., Mu M., van Marle, M.J.E., Morton, D.C., Collatz, G.J., Yokelson, R.J., Kasibhatla, P.S. (2017) *Global fire emissions estimates during 1997–2016*. *Earth Syst. Sci. Data*, (9): 697–720. [<https://doi.org/10.5194/essd-9-697-2017>]
21. *GFED Fire Monitoring*. Available at: <https://tftei.citepa.org/images/files/2019-10-22-23-24/3.%20MARINELAND-UN-FIRE-WORSHOP-242019.pdf>
22. *OMI Aura Atmospheric Chemistry*. Available at: <https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html>
23. Savenets, M., Dvoretzka, I., Nadochii, L. (2020). *Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5P satellite data*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (51), 221-233. [<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>]
24. Yoon J.-H., Rasch P.J., Wang H., Vonoj V., Ganguly D. (2016). *The role of carbonaceous aerosols on short-term variations of precipitation over North Africa*. *Atmospheric Science Letters*, 17(7), 407-414. [<https://doi.org/10.1002/asl.672>]
25. Zeng N, Yoon JH, Marengo JA, Subramaniam A, Nobre CA, Mariotti A, Neelin JD. (2008). *Causes and impacts of the 2005 Amazon drought*. *Environmental Research Letters* (3): 014002 [<https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014002>]
26. *Initiatives on enhancing the responsibility for open burning*. Ministry of energy and environment protection of Ukraine. Available at: <https://menr.gov.ua/news/35054.html>
27. *Fees for open burning*. Ministry of energy and environment protection of Ukraine. Available at: <https://menr.gov.ua/news/35078.html>

UDC 911.5:913(477)

**Viktor Mykolaiovych Samoilenko,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Chair of Physic Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2A Glushkov Prospekt, Kyiv, 03680, Ukraine,  
e-mail: [viksam1955@gmail.com](mailto:viksam1955@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0327-1477>;

**Volodymyr Ivanovych Osadchyi,**

Doctor of Science (Geography), Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Director of Ukrainian Hydrometeorological Institute, National Academy of Science of Ukraine,  
37 Nauky Prospect, Kyiv, 02000, Ukraine,  
e-mail: [osad@uhmi.org.ua](mailto:osad@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0428-4827>;

**Liubov Petrivna Vishnikina,**

Doctor of Science (Pedagogy), Professor, Chair of Geography and Procedure of Its Training,  
V. G. Korolenko National Pedagogic University of Poltava,  
2 Ostrogradskyi St., Poltava, 36003, Ukraine,  
e-mail: [lpvishnikina@gmail.com](mailto:lpvishnikina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0976-5512>;

**Ivan Oleksandrovykh Dibrova,**

PhD (Geography), Associate Professor, Chair of Physic Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [ivandibrova336@gmail.com](mailto:ivandibrova336@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1157-6315>

## SHAPE OF CUMULATIVE LAND USE SYSTEMS' AREA DISTRIBUTION AS A PARAMETER OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON LANDSCAPES

**В. М. Самоїленко, В. І. Осадчий, Л. П. Вішнікіна, І. О. Діброва. ФОРМА КУМУЛЯТИВНОГО РОЗПОДІЛУ ПЛОЩ СИСТЕМ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ЯК ПАРАМЕТР АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЛАНДШАФТИ.** Удосконалення інструментарію змістового, інформаційного та розрахункового оцінювання впливу людської діяльності на довкілля є наразі вельми актуальною проблемою, зважаючи на необхідність збереження і відновлення біотичного та ландшафтного різноманіття. З огляду на таке в статті обґрунтовано та сконструйовано класифікаційну схему кумулятивного розподілу площ систем землекористування та/або його наслідків у ландшафтах і/або фізико-географічних таксонах як аналітичний інструментарій моделювання антропогенного впливу на них. Схема базується на ідеї адекватності типів зазначеного розподілу за його формою певній категорії та інтенсивності антропогенного впливу на ландшафти чи таксони. Власне розподіл площ систем землекористування типізовано за діапазонами параметра поліноміальних трендів кумуляції зазначених площ у ландшафтах або їхніх агрегаціях. За таких умов схема кумулятивного розподілу площ оперує десятьма типами розподілу – від надзвичайно опуклого до надзвичайно угнутого. Ці типи й віддзеркалюють різний антропогенний вплив на таксони – від слабого до надзвичайно сильного. Верифікацію схеми кумулятивного розподілу площ землекористувальних систем здійснено для тестового мегарегіону – 30 фізико-географічних областей і 130 фізико-географічних районів п'яти країв зон мішаних (хвойно-широколистяних) і широколистяних лісів і лісостепу України. Було змодельовано й проаналізовано відповідні цифрові картограми антропогенного впливу на зазначені таксони. Верифікація засвідчила валідність запропонованих нових методичних підходів і їхні переваги над моделюванням антропогенного впливу на ландшафти за допомогою середньовиважених і інших розрахункових індексів антропоїзації та схем. Розроблений модельний інструментарій та результати його верифікації застосовні для удосконалення методик, схем і проектів природоохоронного менеджменту рівнинних суходільних ландшафтів і їхніх агрегацій у помірних широтах.

**Ключові слова:** антропогенний вплив, ландшафти, фізико-географічні таксони, системи землекористування та/або його наслідків, моделювання.

**В. Н. Самоїленко, В. И. Осадчий, Л. П. Вишникіна, И. А. Диброва. ФОРМА КУМУЛЯТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ СИСТЕМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ПАРАМЕТР АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ЛАНДШАФТЫ.** Усовершенствование инструментария содержательного, информационного и расчетного оценивания влияния человеческой деятельности на окружающую среду является сейчас весьма актуальной проблемой, учитывая необходимость сохранения и восстановления биотического и ландшафтного разнообразия. С учетом этого в статье обоснована и сконструирована классификационная схема кумулятивного распределения площадей систем землепользования и/или его последствий в ландшафтах и/или физико-географических таксонах как аналитический инструмент моделирования антропогенного влияния на них. Схема базируется на идее адекватности типов указанного распределения по его форме определенной категории и интенсивности антропогенного влияния на ландшафты или таксоны. Собственно распределение площадей систем землепользования типизировано за диапазонами параметра полиномиальных трендов кумуляции указанных площадей в ландшафтах или их агрегациях. При таких условиях схема кумулятивного распределения площадей оперирует десятью типами распределения – от чрезвычайно выпуклого до чрезвычайно вогнутого. Эти типы и отражают разное антропогенное влияние на таксоны – от слабого до чрезвычайно сильного. Верификация схемы кумулятивного распределения площадей систем землепользования осуществлена для тестового мегарегиона – 30 физико-географических областей и 130 физико-географических районов пяти краев зоны смешанных (хвойно-широколиственных) и широколиственных лесов и лесостепи Украины. Были смоделированы и проанализированы соответствующие цифровые картограммы антропогенного влияния на указанные таксоны. Верификация засвидетельствовала валидность предложенных новых методических подходов и их преимущества над моделированием антропогенного влияния на ландшафты при помощи средневзвешенных и других расчетных индексов антропоизации и схем. Разработанный модельный инструментарий и результаты его верификации применимы для усовершенствования методик, схем и проектов природоохранного менеджмента равнинных суходольных ландшафтов и их агрегаций в умеренных широтах.

**Ключевые слова:** антропогенное влияние, ландшафты, физико-географические таксоны, системы землепользования и/или его последствий, моделирование.

**Statement of the problem.** Current challenges address global and regional threats to biotic and landscape diversity and the urgent need for its conservation, restoration and reproduction. They make it necessary to improve the tools for conceptual, information and calculating assessment of human activities impact on the environment. This concerns, first of all, the analysis of anthropogenic impact on landscapes and/or their aggregations in the form of regional landscape structures, such as the actual physic-geographic taxons. The analysis should be aimed at managing anthropogenic impact, reducing mentioned threats and ensuring geoecological-economic balanced environmental development. That is why the study of the landscape anthropization, i.e. the process of landscape transformation through human activity, and the identification of the effects of this anthropization on the environment remains the most pressing problem of geography and geoecology.

#### Analysis of recent research and publications.

A classified retrospective analytical review of selected European and national concepts of landscape anthropization extent identification was carried out in our recent works [1, 2]. In terms of content and thematic spatial data, available for implementation, the most relevant and open to further improving modification and integration were concepts such as:

1) the European concept of hemeroby, most fully disclosed in such modern developments as:

– the resumptive publication of Walz U. and Stein C. [3], implemented in the German land cover web-service IOER Monitor [4] and the compilation by Winter S. in [5];

– the resumptive work of Paracchini M.L. and Capitani C. [6], implemented in the system of Eurostat Statistics [7] as all-European approach;

– the regional study of Hungary by Csorba P. and Szabó S. [8] and Poland by Kiedrzyński M. et al. [9];

– case studies by Frank S. [10], Wrška T. et al. [11], Rüdiger J. et al. [12], Mercuri A.M. & Florenzano A. [13] and the generalization by Ellis E.C. et al. [14] and in the guidelines [15];

2) the national concept of geological-nature-management analysis, the variant approaches of which have been considered in a number of recent publications, in particular:

– the publication of Shyshchenko P.G. and Gavrylenko O.P. [16, 17], concerning constructive-geographic approach and the study by Grodzynski M.D. in the scope of landscape ecology [18];

– the monograph of Samoilenko V. and Ivanok D. [19], developing hydro-environmental approach;

– developments on a somewhat outdated agro-ecological approach, considered and used, for example, in the work of Kovalchuk I. et al. [20].

With such prerequisites, in our works [2, 21-23], taking into account the developments [3, 4, 6, 7], the conceptual foundations were based and the procedure was developed for landscape anthropization extent analysis, interoperable for all-European and Ukrainian approaches to such analysis. The principal tool of the procedure is the general interoperable classified scheme of the landscape and/or physic-geographic taxons' anthropization extent, depending on the extent of anthropogenic impact on them, caused by land use and/or land cover (LULC) systems (the last as systems of land use effects) (Table 1). Such a measure of impact is categorically specified through the appropriate hemeroby degrees, geoecological positivity / negativity, and naturalness degrees of these systems. The composition of principal LULC systems by categories and subcategories is also given in Table 1 according to [2] and taking into account [3, 24].

Commonly accepted parameters for the practical implementation of Table 1 scheme, as well as any modifications of the scheme, are, first of all, the anthropization index ( $I_{ANT}^{**}$ ) of landscapes and/or taxons and the index of geoecological situation ( $I_{GS}$ ) in land use in them.

Anthropization index  $I_{ANT}^{**}$  is generally calculated in percents as average-weighted by the definite areas according to the model

$$I_{ANT}^{**} = \sum_{i=1}^n I_{ANT,C,i} \cdot s_i, \quad (1)$$

where  $I_{ANT,C,i}$  – the calculating partial anthropization index. It is specific for the definite calculating ( $i$ ) LULC system of a landscape and/or model physic-geographic taxon (see systems in the last column of Table 1). The index  $I_{ANT,C,i}$  is set in percents according to operating scale of anthropization extent. Such scale has to be developed for LULC systems of a specified test or model megaregion etc., for example the scale proposed in [2];  $s_i$  – the total part of the calculating LULC system's area with  $I_{ANT,C,i}$ . This parameter is applied in fractions of a unity, provided that the total area of a landscape or taxon is equal to 1;  $n$  – the number of calculating LULC systems in the selected operating scale within boundaries of a landscape and/or physic-geographic taxon.

The so-called index of geosituation or the geosituation index  $I_{GS}$  is also in use. It is calculated by the proportion

$$I_{GS} = f (S_{1-3} / S_{4-7}), \quad (2)$$

Table 1

Interoperable classified scheme of the landscape and/or physic-geographic taxons' anthropization extent, caused by the different level land use and/or land cover (LULC) systems <sup>1)</sup>

Code and name of landscape anthropization extent category or subcategory	Extent of anthropogenic impact for LULC systems:			Categorical ranges for values of anthropization index $I_{ANT}^{**}$ ( $I_{ANT,L(H)}^{**}$ ), %	Code and name of principal LULC systems <sup>4)</sup>
	Hemeroby degree <sup>2)</sup>	Geocological positivity / negativity	Degree of naturalness <sup>3)</sup>		
1 – Very slight anthropization	Ahemerobic	Very geo-positive	Natural	(0...15.8]	I.1 – Nature-protection system (natural & biosphere reserves etc.); XII.1 – Bare rock system
2 – Slight anthropization	Oligohemerobic	Geo-positive	Close to natural	(15.8...28.3]	I.2 – Nature-protection system (national natural & regional landscape parks etc.); II-III – Wetland and Forestry systems; XII.2-3 – Sand and Sparsely vegetated systems etc.
3 – Moderate anthropization	Mesohemerobic	Moderately geo-positive	Semi-natural	(28.3...39.2]	IV – Shrubby-herbaceous natural system; V.1-2 – Grassland-pasture and hay-making system
4a – L/c moderate-great anthropization	L/c $\beta$ -euhemerobic	L/c moderately geo-negative	L/c relatively far from natural	(39.2...44.8]	XIII.2 – Agro-forestry system; XI.1 – Dirt (country) roads; 0 – Water bodies
4b – H/c moderate-great anthropization	H/c $\beta$ -euhemerobic	H/c moderately geo-negative	H/c relatively far from natural	(44.8...50.4]	V.7.1.1 – Non-forest tilled slightly sloping system
5a – L/c great anthropization	L/c $\alpha$ -euhemerobic	L/c geo-negative	L/c far from natural	(50.4...57.1]	V.5-6 – Fruit trees and vineyard system; V.7.1.2-3 – Non-forest tilled moderately & middling sloping systems; VI.1 – Drainage-irrigation system etc.
5b – H/c great anthropization	H/c $\alpha$ -euhemerobic	H/c geo-negative	H/c far from natural	(57.1...63.7]	V.7.1.4-5 – Non-forest tilled essentially and greatly sloping systems
6 – Very great anthropization	Polyhemerobic	Very geo-negative	Strange to natural	(63.7...79.5]	V.7.2 – Forest tilled system; VI – Hydrotechnical-hydromelioration system (except VI.1); VII – Recreational system; VIII.1 – Village system etc.
7 – Excessive anthropization	Metahemerobic	Excessively geo-negative	Artificial	(79.5...100]	VIII.2 – City-town system; IX-X – Industrial-construction and Mining systems; XI – Transport-communication system (except XI.1)

<sup>1)</sup> According to [2, 21-23]; Abbreviation: L/c – low-categorical, H/c – high-categorical; <sup>2)</sup> According to [3, 4] with our modification; <sup>3)</sup> According to [6, 7] with our modification; <sup>4)</sup> According to the operating scale in [2]

where  $S_{1-3}$  – the total area of geo-positive LULC systems in a landscape and/or a physic-geographic taxon. These include set of proper systems from very to moderately geo-positive according to Table 1;  $S_{4-7}$  – the total area of geo-negative

LULC systems in a landscape etc., i.e. set of systems from low-categorical moderately geo-negative to excessively geo-negative in Table 1.

Geosituation index values mark this situation in land use in landscapes or physic-geographic taxons

according to a special scale developed in [2, 22]. The seven categories of this scale cover geosituation from excessively favorable ( $I_{GS} \geq 4.77$ ) to catastrophic ( $I_{GS} < 0.13$ ).

In addition, an attempt was made in [8] to construct cumulative curves of areas in Hungary's microregions by categories of hemeroby. However, the parameterization of such curves was not implemented and therefore their analysis remained at [8] at a simple descriptive level (see [2]). Also in [2] it was proposed to use the classified scheme of taxon area distribution among dominant LULC systems. The scheme substantially reflects the composition of the decreasing row for LULC dominant categories in the model taxon.

**Identification of previously unsolved parts of the general problem.** The analysis of the above developments on the problem, concerning the parameterization of anthropogenic impact on landscapes, confirms the following. Firstly, the average-weighted anthropization indexes according to model (1) are marked by the disadvantages of their application, which are characteristic of any mean value ([25, 26]). On the one hand, this is a low informational content of the mean value for estimating the variability of random variables distribution under study. On the other hand, structural heterogeneity of the LULC system areas' samples through the anthropization extent categories in Table 1 has an essential action on the anthropization index value. That is, if the landscape has a dominant by area particular LULC system with the anthropization extent subcategory occupying an average position in the scheme of the last one in Table 1, i.e. 4a or 4b, the total estimate of the landscape anthropization by  $I_{ANT}^{**}$  is overvalued. This shift of estimates was demonstrated by us in [2, 21], when, for example, anthropization extent, simulated for certain forest-steppe physic-geographic taxons, was lesser than for some taxons of mixed forest zone. And this does not quite correspond to the regional factor conditionality of the anthropization process. Secondly, the geosituation index by (2), on the one hand, is less "structurally shifted" than the anthropization index by (1). However, on the other hand, this index  $I_{GS}$  is also imperfect. In particular, in the absence of geositive systems in Table 1 in a certain landscape or taxon, the geosituation index will be 0, regardless of the geo-negative systems' composition, which may differ essentially. Thirdly, the above-mentioned scheme of taxon area distribution among dominant LULC systems ([2]) is more content-descriptive than strictly typological-parametric. This is due to the fact that the scheme describes the hierarchy of only the nodes of the corresponding area graphs among categories in Table 1, and not the specifics of the exact numerical ratios of such areas.

Thus, the model tools for estimating anthropogenic impact on landscapes or physic-geographic taxons need substantial improvement. Such tools should, as far as possible, informatively and effectively reflect the contributions to the integral landscape / taxon anthropization extent of all, not just area-dominant LULC systems, as well as the ratio of all these contributions.

**Statement of the paper objective.** The paper objective was to substantiate, develop and verify new and sufficiently informative analytical tools for modeling anthropogenic impact on landscapes and/or physic-geographic taxons. Hence the first task was to implement in the calculating scheme a hypothesis about the possibility of using the shape of cumulative LULC systems' area distribution as a parameter of anthropogenic impact on landscapes or taxons. The second task was to verify the created new calculating scheme for the physic-geographic taxons of the test megaregion. It was selected as a megaregion of zones of mixed (coniferous / broad-leaved) and broad-leaved forests and forest-steppe of Ukraine according to zoning in [27]. A considerable spatial data bases for land use in this megaregion were organized in [2, 21, 22]. These data bases are informative enough, because they use modern open sources of digital spatial data. Such sources, in addition to [27], include, first of all, digital land cover maps obtained by the European Space Agency (ESA, [28]) and the National Geomatics Center of China (NGCC, [29]) from remote sensing data of satellite programs. According to [22, 27] the test megaregion consists of 5 physic-geographic regions called "krai" in Ukrainian, and 25 physic-geographic areas called "oblast" in Ukrainian, which are divided into 130 physic-geographic districts or "raion" in Ukrainian (see next Fig. 6).

**Presentation of methods and principal research material.** The experience of our studies ([25, 26, 2]) shows that, given the suggestions in [8], the resumptive graphic solutions for the analysis of anthropogenic impact on landscapes and physic-geographic taxons can be correctly represented in the form of certain modified graphs of statistics. They are, firstly, graphs of categorical cumulation (or cumulative graphs) of LULC systems' area percents according to calculating for such categories anthropization indexes in physic-geographic taxons, namely areas and districts. Hereinafter, these graphs will be abbreviated as *the cumulative graphs of LULC systems' areas in taxons* or corresponding *taxon graphs*. They are constructed as points by the model

$$v(s_i)_{CAT,j} = f(I_{ANT,C,CAT,j}), \quad (3)$$

where  $v(s_i)_{CAT,j}$  – the percents of LULC systems' areas, that are sequentially cumulated through

anthropization extent categories (see Table 1), and which are present within a specific physic-geographic area or district, and are the part of these categories ranged in the order of the anthropization extent increasing;  $I_{ANT,C,CAT,j}$  – the highest "system"  $I_{ANT,C,i}$  in the relevant ( $j$ ) category (see (1)), which in this case is the calculating upper limit of this category.

The latter parameter should be noted as follows. On the one hand, it is defined only for categories, that is, without taking into account the subcategories of Table 1. On the other hand, according to the operating scale of landscape anthropization extent ([2, 21]) mentioned in the fourth column of Table 1, the value  $I_{ANT,C,CAT,j}$  are determined by LULC systems with the highest anthropization extent within each category. Namely: for category 1, such system is Bare rock system, the value of  $I_{ANT,C,i}$  for which causes the corresponding value of  $I_{ANT,C,CAT,1} = 12.6\%$ ; for category 2 – Mixed forest system with  $I_{ANT,C,CAT,2} = 27.7\%$ ; for category 3 – Grassland-pasture and haymaking system with  $I_{ANT,C,CAT,3} = 36.0\%$ ; for category 4 – Non-forest tilled slightly sloping system with  $I_{ANT,C,CAT,4} = 46.7\%$ ; for category 5 – Non-forest tilled essentially and greatly sloping system with  $I_{ANT,C,CAT,5} = 58.0\%$ ; for category 6 – System of geo-negative hydromelioration consequences with  $I_{ANT,C,CAT,6} = 79.5\%$ ; for category 7 – City-town system, including cities with residents' number more than 1,000 thousands of people, with  $I_{ANT,C,CAT,7} = 98.7\%$ .

Secondly, it is advisable to approximate the points of cumulative graphs under the model (3) by second-order polynomial trends according to the formula

$$v(s_i)_{CAT,j} = a_{S,AR(DIST)}(I_{ANT,C,CAT,j})^2 + b_{S,AR(DIST)}(I_{ANT,C,CAT,j}), \quad (4)$$

where  $a_{S,AR(DIST)}$  і  $b_{S,AR(DIST)}$  – the parameters of polynomial trends that are singular for each physic-geographic area or district.

The set of trends calculated according to the formulas (4) for the 25 physic-geographic areas and 130 districts of the test megaregion showed the fairly high reliability of all such 155 trends (see the most typical examples for the districts in Fig. 1-4). Thus, given the squared indexes of approximation reliability  $R^2$  for these trends and according to [25], the following quality of approximation for the investigated non-linear relationships was obtained:

1) a good by reliability approximation with  $R^2 > 0.9$  – for trends of 14 physic-geographic areas and 60 districts;

2) a satisfactory approximation with  $0.7 < R^2 \leq$

0.9 – for trends of 11 physic-geographic areas and 70 districts.

The aforementioned set of 130 regional trends in content is sufficiently informative to summarize. Therefore, as the third step of model solutions, dependences were built for this set (Fig. 5), such as

$$a_{S,DIST} = f(I_{ANT,DIST}^{**}), \quad (5)$$

where  $a_{S,DIST}$  – the parameters of the polynomial trends for the physic-geographic districts of the test megaregion from formula (4);  $I_{ANT,DIST}^{**}$  – the average-weighted anthropization indexes of these districts by model (1), calculated in our works [2, 21].

Dependences (5) were quite satisfactorily approximated by the logarithmic trend with  $R^2 = 0.89$  according to the formula (see Fig. 5)

$$a_{S,DIST} = c_{a_S} \ln(I_{ANT,DIST}^{**}) - d_{a_S}, \quad (6)$$

where  $c_{a_S}$  і  $d_{a_S}$  – the parameters of polynomial trend, at that  $c_{a_S} = 10$   $a_{S,DIST}^* = 0.05$ , and  $d_{a_S} = 4$   $a_{S,DIST}^* = 0.21$ , where  $a_{S,DIST}^*$  – the mean value  $a_{S,DIST}$  from their set by (5).

It should be noted that the sample of 130 dependencies by (5) in Fig. 5, as well as the trend by (6), which approximates it, can be considered not only megaregional, but also valid in general for plain terrestrial landscapes and physic-geographic taxons of midlatitudes. This is caused by the considerable extent the mention sample, the variability and representativeness of its members according to [25, 2] and the normalized nature of the original graphs (3), taking into account the properties of the quasi-ergodicity concerning the random functions of natural geosystems' parameters ([23]).

Under these conditions, the logarithmic trend (6) was transformed into a model form in order to calculate with further classification the given ranges of the parameter  $a_S$  as a whole. This form looks like

$$a_S = c_{a_S} \ln(I_{ANT,L(H)}^{**}) - d_{a_S}, \quad (7)$$

where  $I_{ANT,L(H)}^{**}$  – the lower and upper limits of the ranges for values of landscape anthropization index according to Table 1.

Further, the just mentioned values  $I_{ANT,L(H)}^{**}$  were strictly inserted to trend (7). This made it possible to obtain, firstly, the calculating ranges of the parameter  $a_S$  in the trends of the cumulative graphs of LULC systems' areas in taxons according to (4), combined with the corresponding anthropization extent of taxons (by Table 1). Secondly, the regularities, concerning properly the shape of the logarithmic trend (7), were additionally used for parameter-

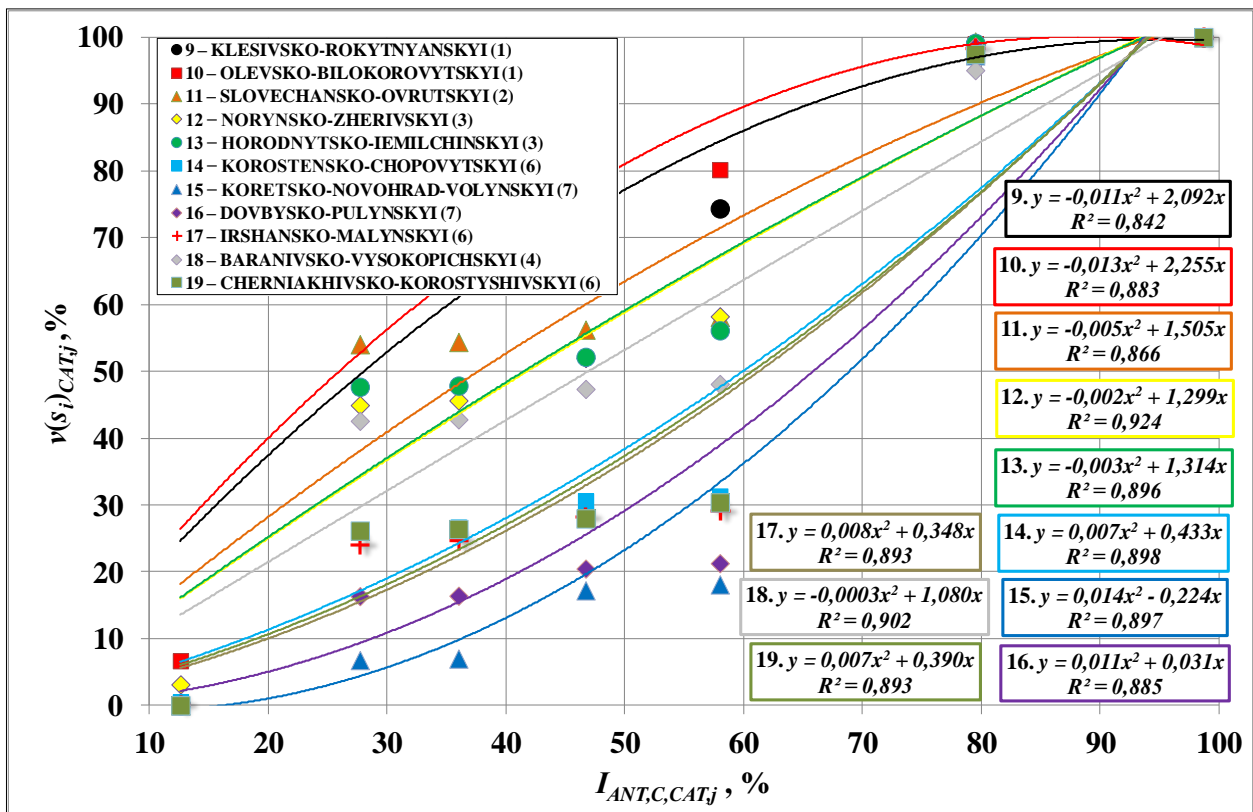
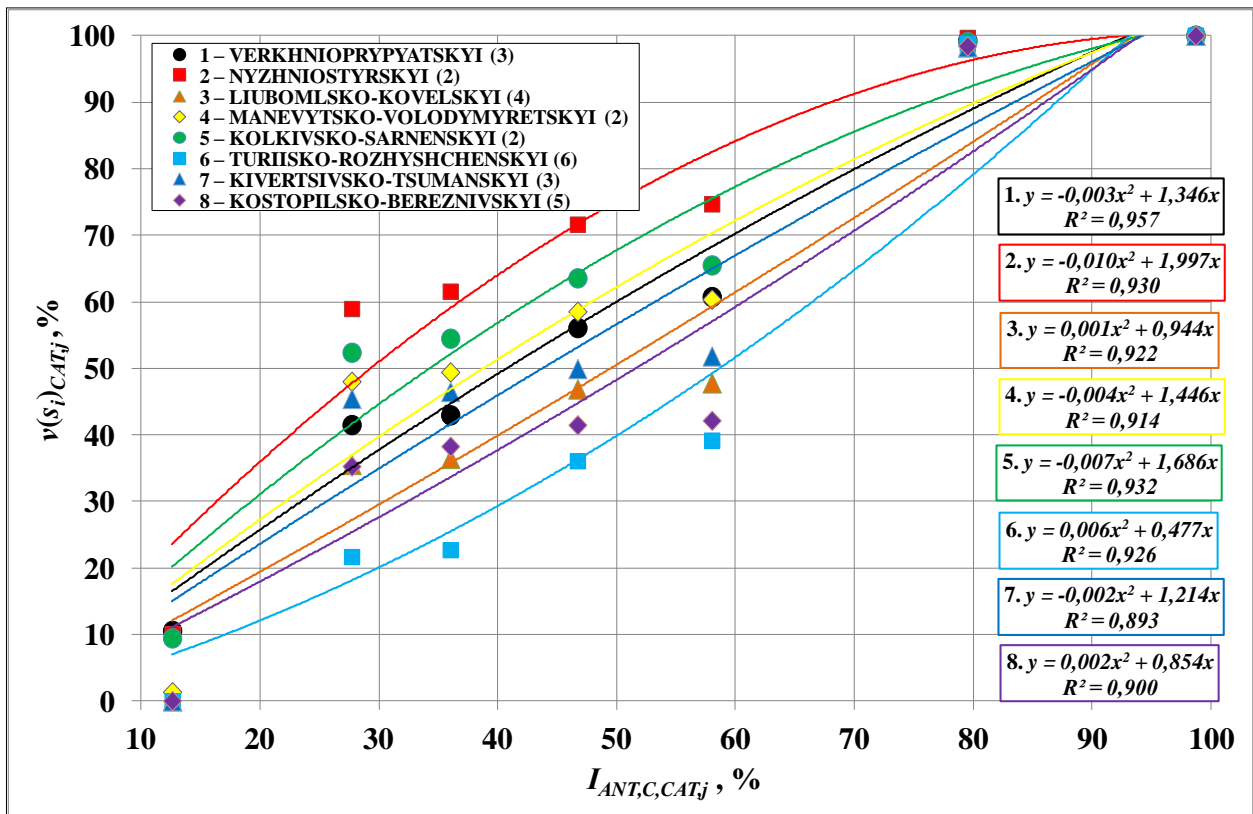


Fig. 1. Cumulative graphs of LULC systems' areas and their approximation by polynomial trends in physic-geographic districts of the Volynsko-Poliska (at the top) and the Zhytomyrsko-Poliska (at the bottom) physic-geographic areas at the Poliskyi region (see next Fig.7).

Legend: ● 1 – VERKHNIOPRYPYATSKYI (3) ... ■ 19 – CHERNIAKHIVSKO-KOROSTYSHIVSKYI (6) – point symbols, ordinal numbers and names ([2]) of districts and categories of anthropogenic impact on them according to Table 1 (numbers in brackets); cumulative graphs – points by model (3); trends – continuous lines by formula (4); column to the right – trend formulas for districts,  $R^2$  – squared indexes of approximation reliability



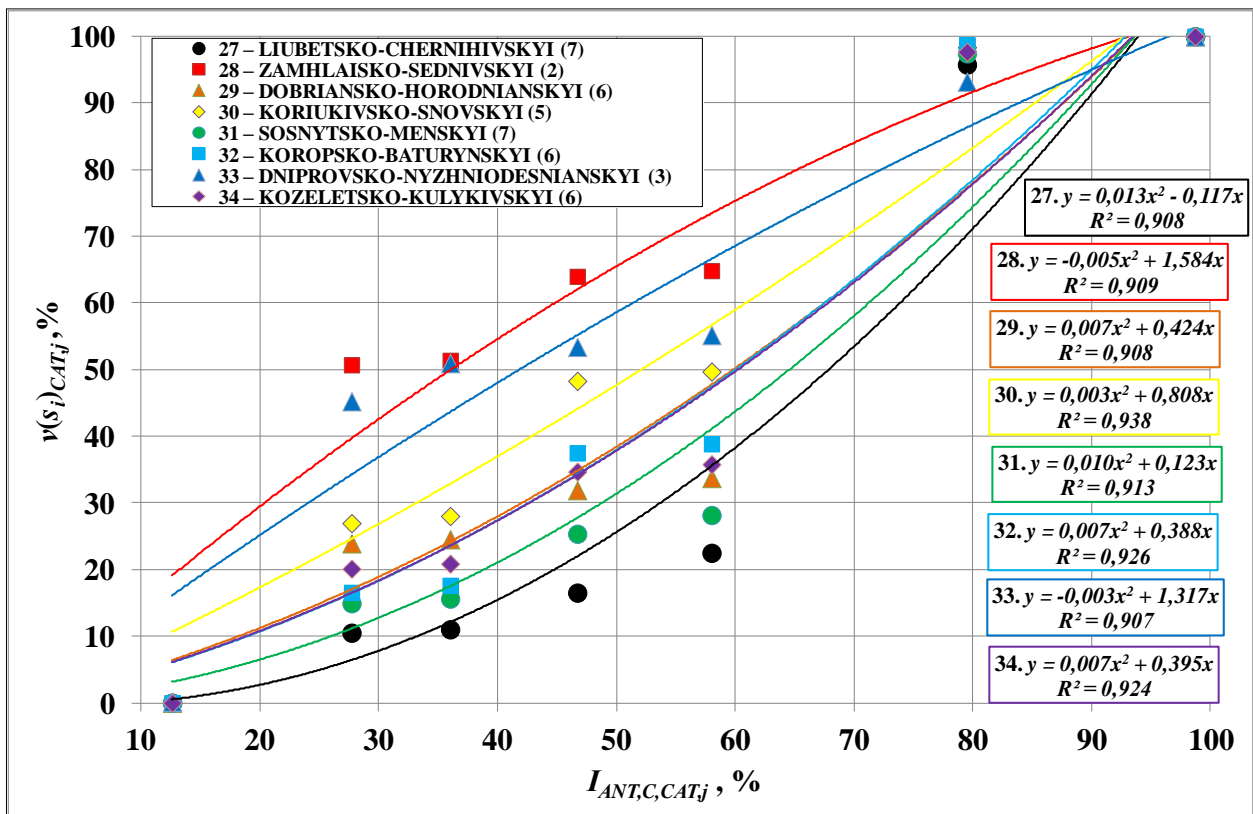
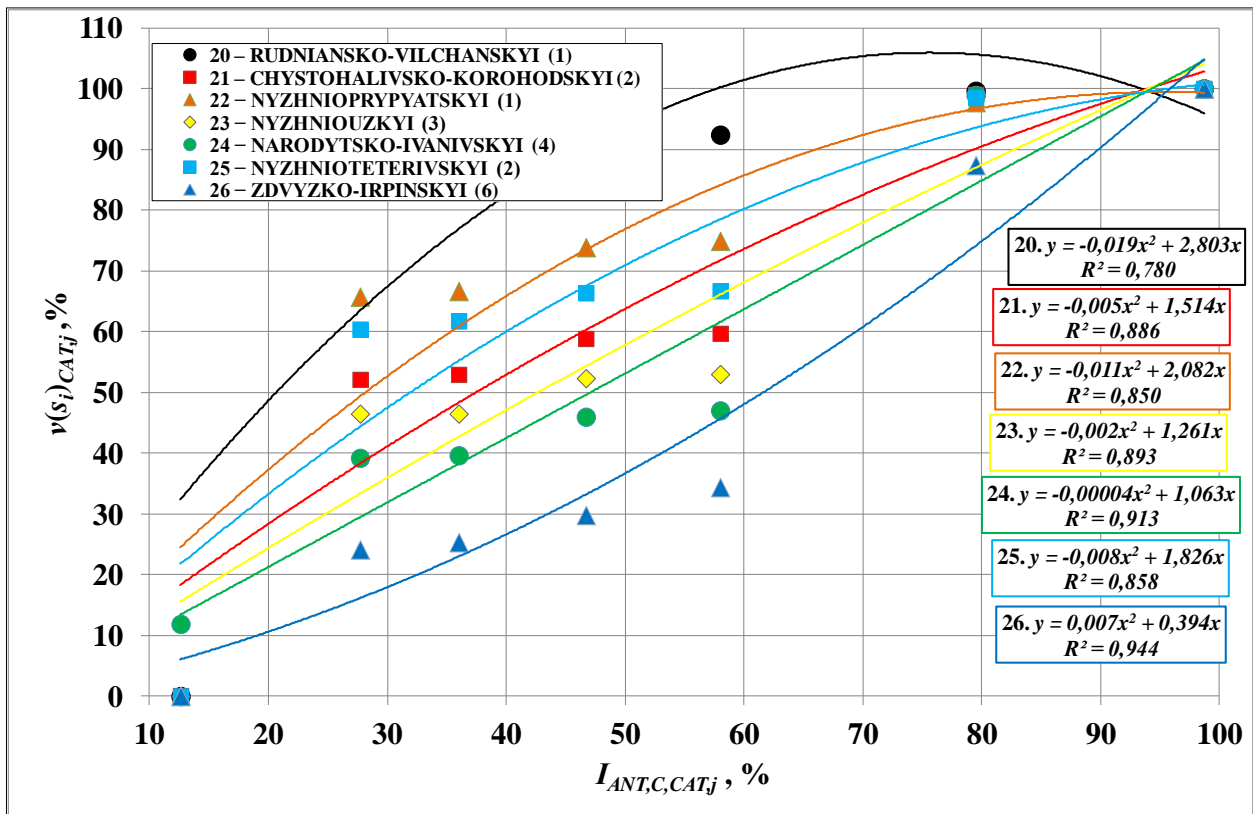


Fig. 2. Cumulative graphs of LULC systems' areas and their approximation by polynomial trends in physic-geographic districts of the Kyivsko-Poliska (at the top) and the Chernihivsko-Poliska (at the bottom) physic-geographic areas at the Poliskyi region (see next Fig.7).

Legend: ● 20 – RUDNIANSKO-VILCHANSKYI (1) ... ◆ 34 – KOZELETSKO-KULYKIVSKYI (6) – point symbols, ordinal numbers and names ([2]) of districts and categories of anthropogenic impact on them according to Table 1 (numbers in brackets); cumulative graphs – points by model (3); trends – continuous lines by formula (4); column to the right – trend formulas for districts,  $R^2$  – squared indexes of approximation reliability

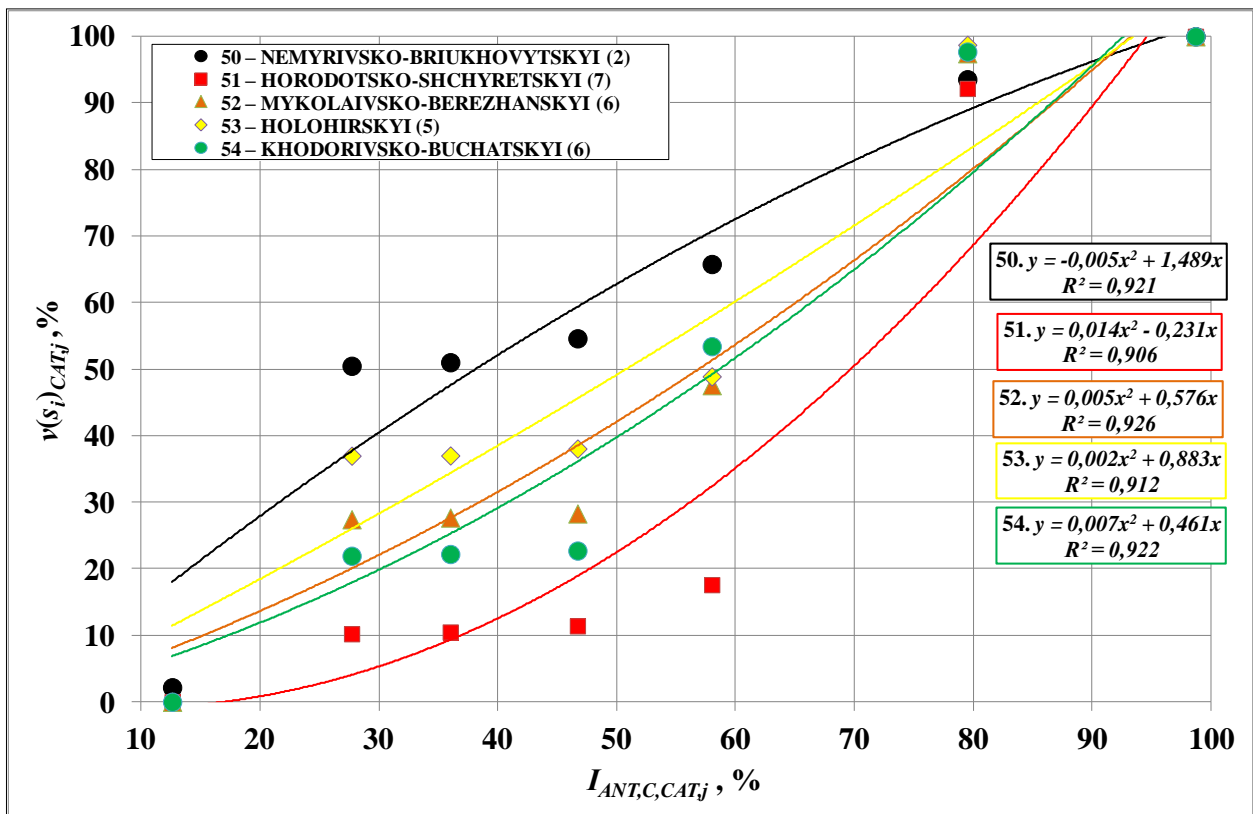
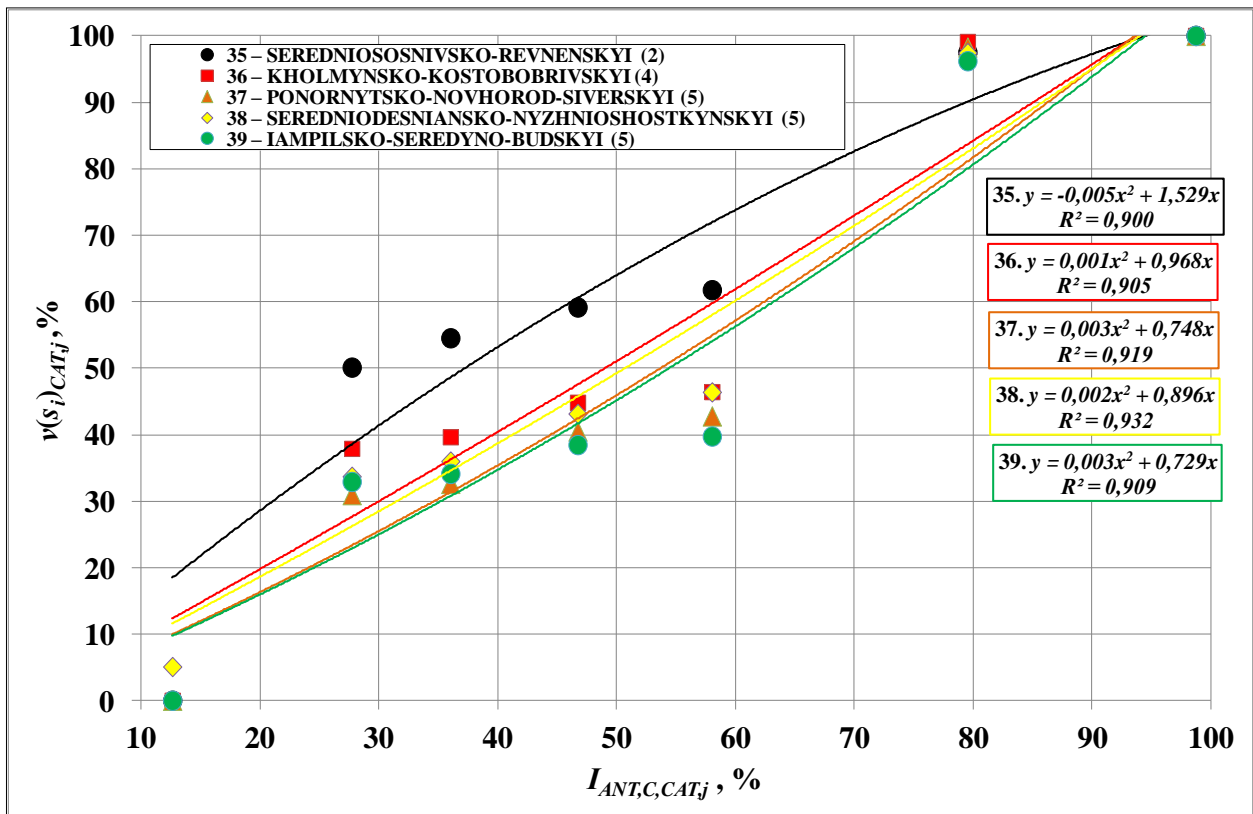


Fig. 3. Cumulative graphs of LULC systems' areas and their approximation by polynomial trends in physic-geographic districts of the Novhorod-Siversko-Poliska (at the top) and the Roztotsko-Opilska horbohirna (at the bottom) physic-geographic areas at the Poliskyi and the Zakhidnoukrainskyi regions (see next Fig.7-8). Legend: ● 35 – SEREDNIOSOSNIVSKO-REVNENSKYI (2) ... ● 54 – KHODORIVSKO-BUCHATSKYI (6) – point symbols, ordinal numbers and names ([2]) of districts and categories of anthropogenic impact on them according to Table 1 (numbers in brackets); cumulative graphs – points by model (3); trends – continuous lines by formula (4); column to the right – trend formulas for districts,  $R^2$  – squared indexes of approximation reliability

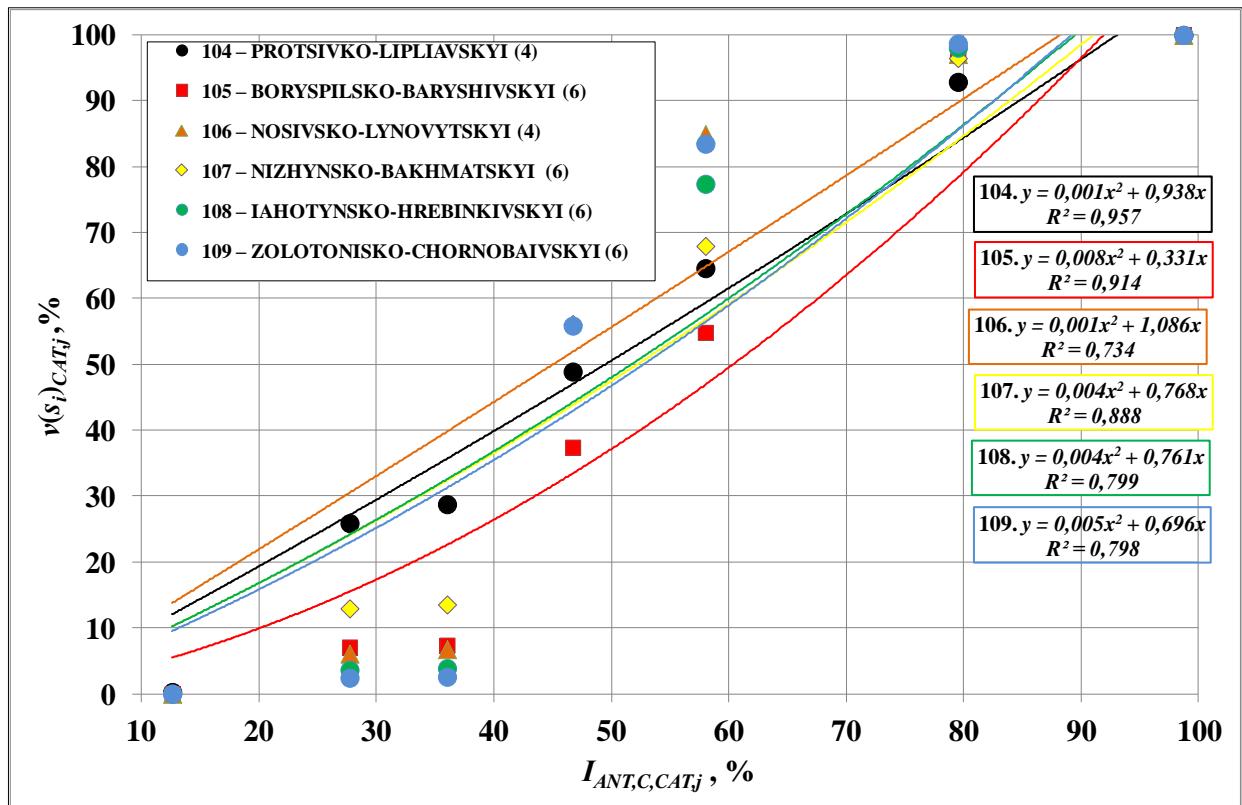
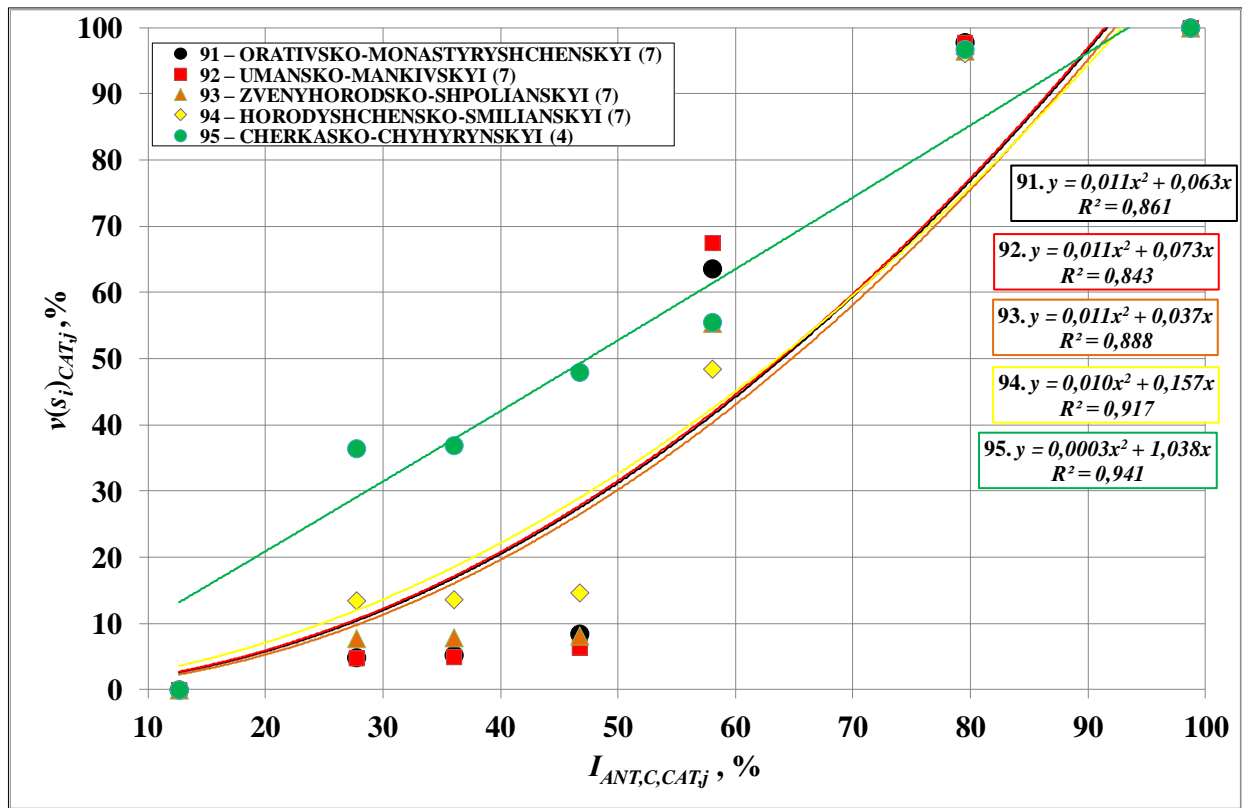


Fig. 4. Cumulative graphs of LULC systems' areas and their approximation by polynomial trends in physico-geographic districts of the Tsentralnoprydniprovskya vysochynna (at the top) and the Pivnichnoprydniprovskya terasova nizovynna (at the bottom) physico-geographic areas at the Podilsko-Prydniprovskiyi and the Livoberezhnodniprovskiyi regions (see next Fig. 9-10)

Legend: ● 91 – ORATIVSKO-MONASTYRYSHCHENSKYI (7) ... ● 109 – ZOLOTONISKO-CHORNOBAIVSKYI (6) – point symbols, ordinal numbers and names ([2]) of districts and categories of anthropogenic impact on them according to Table 1 (numbers in brackets); cumulative graphs – points by model (3); trends – continuous lines by formula (4); column to the right – trend formulas for districts,  $R^2$  – squared indexes of approximation reliability

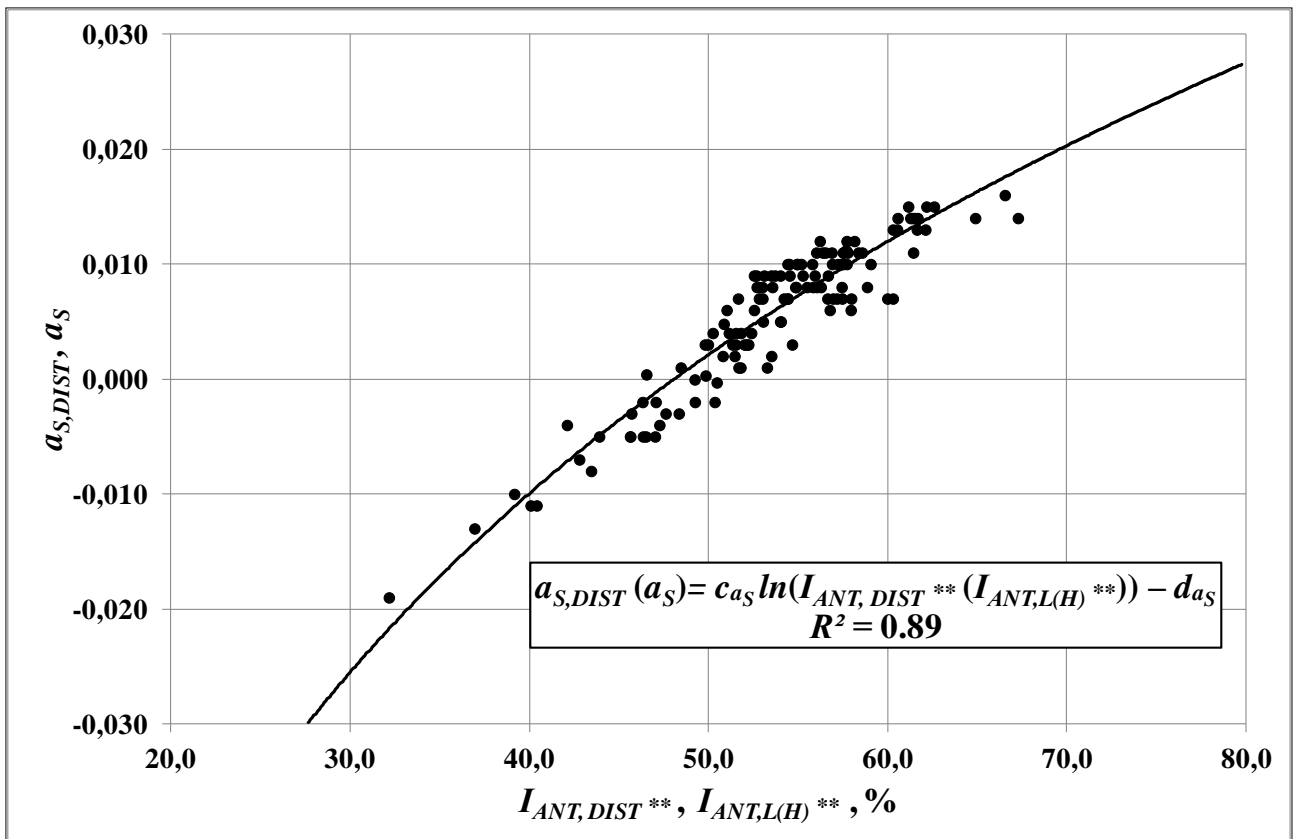


Fig. 5. Dependences (5) and their approximation by the logarithmic trend (6) in order to calculate the ranges for the parameter  $a_S$  in Table 2 ( $I_{ANT,L(H)} **$  according to Table 1;  $R^2$  – squared index of approximation reliability)

ization, namely, the parameters of the trend shape transition from the convex through the rectilinear to the concave. This also made it possible to distinguish three levels of the corresponding ranges in the anthropization extent subcategory 4b, that is, as to the high-categorical moderate-great anthropization (see Table 1 and following Table 2). Thirdly, real domain of the initial districts' polynomial trends was taken into account. In particular, such consideration has made it expedient to assign the first and second categories of physic-geographic taxons' anthropization extent to the single range during parametric systematization of the trend shape. These categories' merging is explained by their essentially small territorial distribution, at that at the level of landscape aggregation lower than the physic-geographical districts (see Fig. 4.2 in [2]). Fourthly, the proposed in [3, 4] adequacy of taxons' anthropization extent categories to a certain intensity of anthropogenic impact on them also has been taken into account.











On such background, the final desired analytic tool was developed, directly considering the possible by shape types of trend distributions according to (4). Such a tool became a classified scheme of the LULC system areas' percent distribution in physic-geographic taxons. The scheme typifies this distribution over the ranges of the parameter  $a_S$  in the polynomial trends of the cumulative graphs accord-

ing to the formula (4). In what follows, in short, the scheme will be referred to as the *classified scheme* or, simply, *the scheme of the LULC system areas' cumulative distribution* (Table 2). It simultaneously determines the category and intensity of anthropogenic impact on taxons, corresponding to a definite distribution, as well as, of course, the extent of taxons' anthropization. The scheme of Table 2 operates with ten distribution types / impact categories: from zero type / category, namely excessively convex distribution with adequate weak anthropogenic impact, to the ninth type / category, i.e. excessively concave distribution with corresponding excessively strong impact.

The verification of the classified scheme of Table 2 was realized for the test megaregion. Verification caused the following model results (initial physic-geographic spatial data in all next figures with the digital choropleths are based on [27]).

The spatial data of choropleth in Fig. 6 indicate that only four types of the LULC system areas' cumulative distribution have been identified in the verificatory physic-geographic areas. In 60% of these areas, the type is dominated by a concave distribution with code 6. This is adequate to the low-categorical strong anthropogenic impact on the areas (see Table 2). This type of distribution is peculiar to most of physic-geographic areas in almost all regions,

Classified scheme of the LULC system areas' cumulative distribution in physic-geographic taxons and adequate to the distribution categories and intensity of anthropogenic impact on taxons

Code and type of distribution according to the trend line shape of LULC system areas' cumulative graphs in taxons <sup>1)</sup> (see (3), (4))	Ranges for $a_s$ as parameter of formula (4) trends	Category and intensity of anthropogenic impact on taxons <sup>2)</sup> and the extent of their anthropization (code in brackets according to Table 1)	Color of anthropogenic impact category at thematic choropleths
0 – Excessively convex distribution	$\leq -0,029$	0 – Weak impact (1-2)	
1 – Very convex distribution	$(-0,029 \dots -0,011]$	1 – Moderate impact (3)	
2 – Convex distribution	$(-0,011 \dots -0,004]$	2 – L/c moderate-strong impact (4a)	
3 – Weakly convex distribution	$(-0,004 \dots -0,001)$	3 – H/c moderate-strong impact of the 1 <sup>st</sup> level (4b-1)	
4 – Close to rectilinear distribution	$[-0,001 \dots 0,001]$	4 – H/c moderate-strong impact of the 2 <sup>nd</sup> level (4b-2)	
5 – Weakly concave distribution	$(0,001 \dots 0,003]$	5 – H/c moderate-strong impact of the 3 <sup>d</sup> level (4b-3)	
6 – Concave distribution	$(0,003 \dots 0,009]$	6 – L/c strong impact (5a)	
7 – Essentially concave distribution	$(0,009 \dots 0,015]$	7 – H/c strong impact (5b)	
8 – Very concave distribution	$(0,015 \dots 0,027]$	8 – Very strong impact (6)	
9 – Excessively concave distribution	$> 0,027$	9 – Excessively strong impact (7)	

<sup>1)</sup> Based on [2] with our modification; Abbreviation: L/c – low-categorical, H/c – high-categorical; <sup>2)</sup> Based on [3, 4] with our modification

with the exception of the Poliskyi region. In the latter taxon a weakly convex and close to rectilinear cumulative distributions are simulated parity in two areas. The distributions correspond to the high-categorical moderate-strong anthropogenic impact of the 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup> level. In six other physic-geographic areas, mostly of the Podilsko-Prydniprovskiyi region, as well as the Zakhidnoukrainskiy region, the cumulative distribution by type is essentially concave. This reflects the already high-categorical strong anthropogenic impact on these taxons.

The physic-geographic districts of the test megaregion are not characterized by excessively convex and excessively concave types of distribution according to Table 2 (codes 0 and 9). Also in only one district is simulated a very concave distribution with code 8. All this affirms the absence of districts with both weak and excessively strong anthropogenic impact on them and the limitedness of very strong such impact. Such a result is logical taking into consideration the geocological situation in

land use in the megaregion (see [2, 22]).

In general, among the eight types of cumulative LULC system areas' distribution (see next Fig. 7-10) physic-geographic districts of the megaregion are characterized by such dominant types as:

– concave and essentially concave distributions. They concern, respectively, 48 or 37% and 40 or 31% of the districts and reflect the low- and high-categorical strong anthropogenic impact on the taxons;

– convex and weakly convex distributions. They each are inherent, respectively, to 11 or 8% of the districts and reflect the low- and high-categorical moderate-strong anthropogenic impact of the 1<sup>st</sup> level on these taxons.

A more detailed analysis of districts' cumulative distribution types within the boundaries of physic-geographic regions in the test megaregion and their physic-geographic areas can be summarized as follows.

In the zone of mixed (coniferous / broad-leaved)

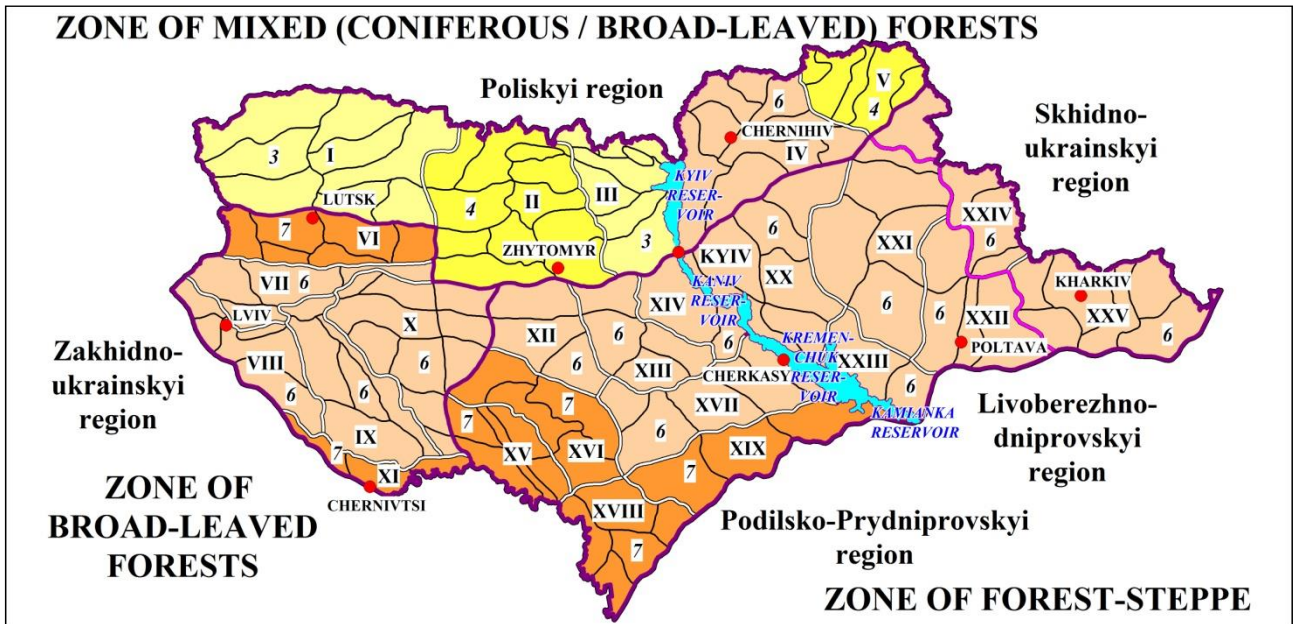


Fig. 6. Digital choropleth of the test megaregion: anthropogenic impact on the physic-geographic areas.  
 Legend: boundaries of the physic-geographic taxons: — — zones and regions, — — regions, = — areas and — — districts; I...XXV – codes of the physic-geographic areas (see Fig.7-10); 3...7 – areas' anthropogenic impact category in Table 2

forests, 39 physic-geographic districts of the *Poliskiyi region* as a whole (Fig. 7 and Fig. 1-3) are most characterized by convex and concave cumulative distributions. Each of them is inherent to 21% of the megaregional districts and, accordingly, affirms the low-categorical moderate-strong and strong anthropogenic impact on these districts. Only in this region, in the absence of a very concave district distribution, a very convex cumulative distribution (code 1 by Table 2) is logically simulated. It reflects a moderate anthropogenic impact on four geoecological-positive districts of the Zhytomyrsko-Poliska and Kyiv-Poliska physic-geographic areas. Among these districts, respectively, are the Klesivsko-Rokytnyansky, the Olevsko-Bilokorovytskyi, the Rudniansko-Vilchansky and the Nyzhni-oprypyatskyi districts, located in the north of these areas (see Fig. 1-2 and Fig. 7). Districts of the Poliskiyi region with weakly convex (code 3, 15%) and weakly concave (code 5, 13%) cumulative distributions of LULC system areas has quite considerable quantity. That is, the former fall under the high-categorical moderate-strong anthropogenic impact of the 1<sup>st</sup> level, and the latter – under the same impact, however of the 3<sup>d</sup> level.

The *Zakhidnoukrainskiy region* of the broad-leaved forest zone is characterized by the fact that 33 of its physic-geographic districts are inherent, firstly, to only 6 of 8 types of megaregional cumulative distributions in the absence of types 1 and 3 (Fig. 8). That is, in this region there are no districts with moderate and high-categorical moderate-strong anthropogenic impact of the 1<sup>st</sup> level. Secondly, only

three districts with convex distribution are distinguished by a relatively small anthropization extent (code 2 in Table 3.5). These are the Smihivsko-Slavutskiyi, the Nemyrivsko-Briukhovyt'skiy and the Medzhybizko-Derazhnianskiy districts with low-categorical moderate-strong anthropogenic impact on them. Thirdly, the *Zakhidnoukrainskiy region* is dominated by districts (45%), which fell under the high-categorical impact, i.e. with an essentially concave distribution of LULC system areas (code 7 according to Table 2). The low-categorical strong impact (code 6, 24% of districts of the region) and the high-categorical moderate-strong impact of the 3<sup>d</sup> level (code 5, 15%) on the districts are also quite widespread. These districts are thus characterized by a concave and weakly concave cumulative distribution. It is infrequent for districts of the region to have close to rectilinear (code 4) and very concave (code 8) the LULC system areas' cumulative distributions relating to one district each.

Turning to the characteristics of the forest-steppe zone, the following should be noted. The first region of this zone – the *Podilsko-Prydniprovskiyi* – is characterized by very low variability of the cumulative distributions of LULC system areas in the 31 physic-geographic districts of the region (Fig. 9). Three types of cumulative distributions are simulated here. Among them an essentially concave distribution is dominated (code 7 according to Table 2). It covers 65% of the regional districts and indicates the high-categorical strong anthropogenic impact on them. And only one physic-geographic district of the region is characterized by relatively more mode-

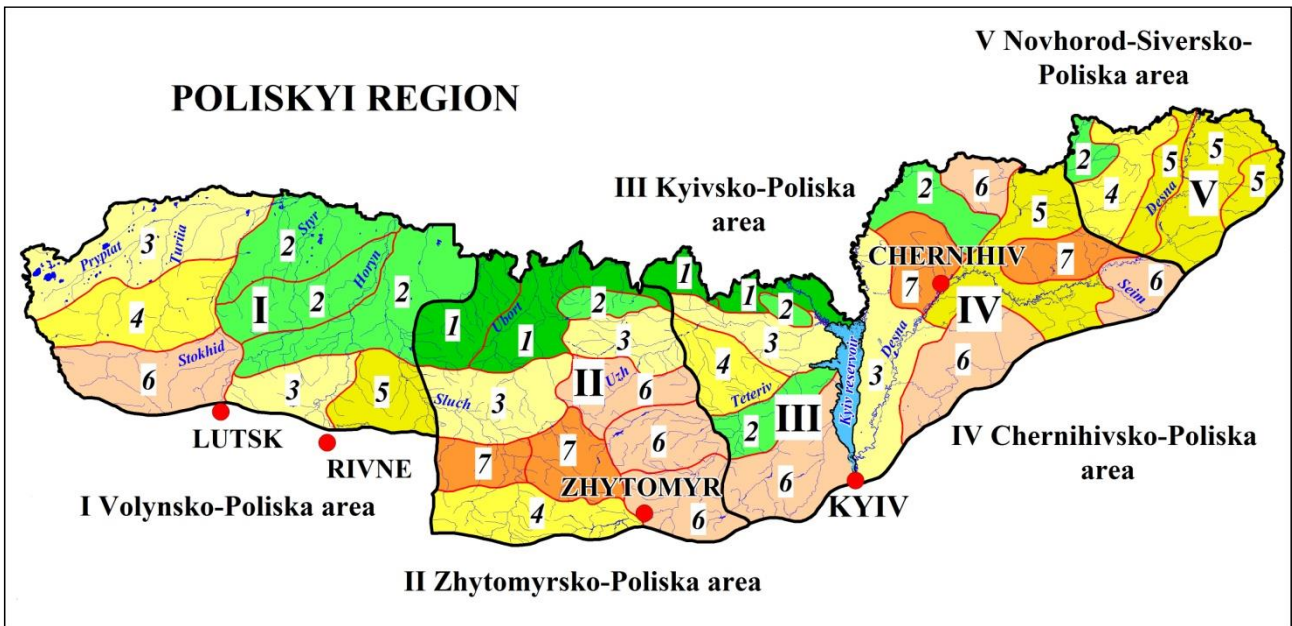


Fig. 7. Digital choropleth of the anthropogenic impact on the physic-geographic districts of the Poliskyi region. Legend: boundaries of the physic-geographic taxons: — – region and areas, — – districts; I...V – codes of the physic-geographic areas; 1...7 – districts' anthropogenic impact category in Table 2

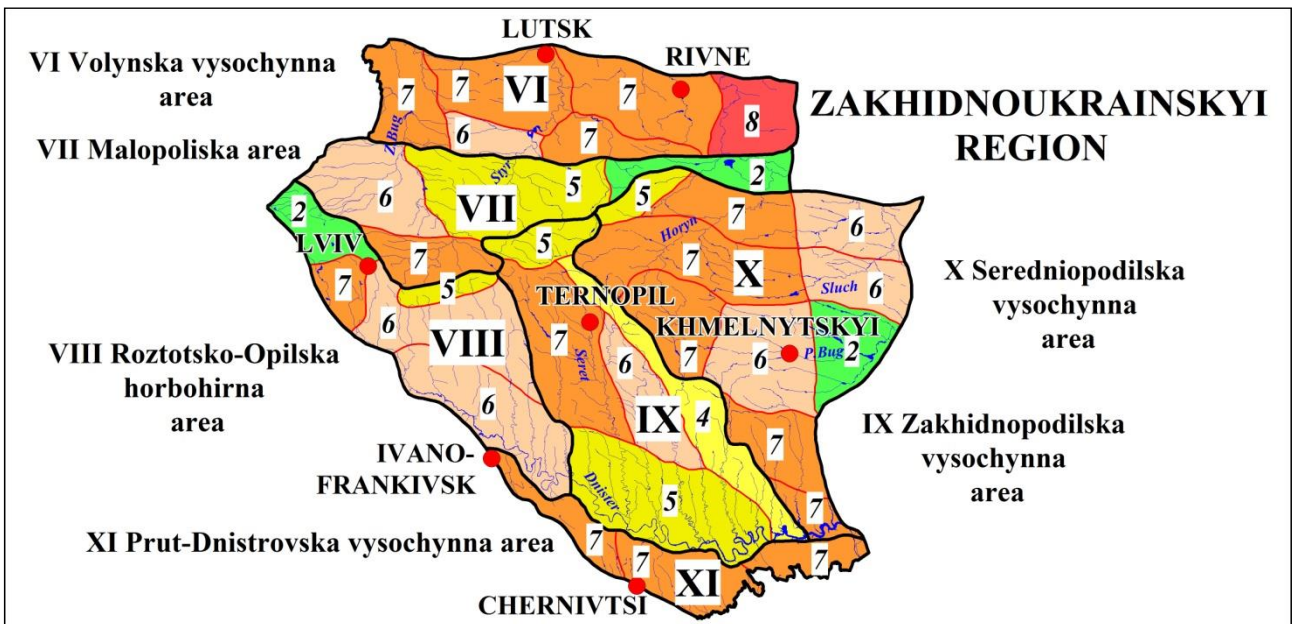


Fig. 8. Digital choropleth of the anthropogenic impact on the physic-geographic districts of the Zakhidnoukrainskyi region.

Legend: boundaries of the physic-geographic taxons: — – region and areas, — – districts; VI...XI – codes of the physic-geographic areas; 2...8 – districts' anthropogenic impact category in Table 2

rate anthropization. This is the Cherkasko-Chyhyrskyi district with close to rectilinear distribution (see Fig. 4), which is adequate to the high-categorical moderate-strong anthropogenic impact of the 2<sup>nd</sup> level.

The *Livoberezhnodniprovskyi region* (Fig. 10) is characterized by a slightly greater variability of the cumulative distribution types than in the previous region. Four such types are simulated here for

17 districts of the region. Among them, a concave distribution is prevalent, concerning 76% of the districts and marking the low-categorical strong anthropogenic impact on them (code 6 in Table 2). The less unfavorable geocological situation was simulated in only four other districts of the region. Among them, the Konotopsko-Putyvlskyi district is 'the leader' with weakly convex type of distribution and therefore with high-categorical moderate-strong

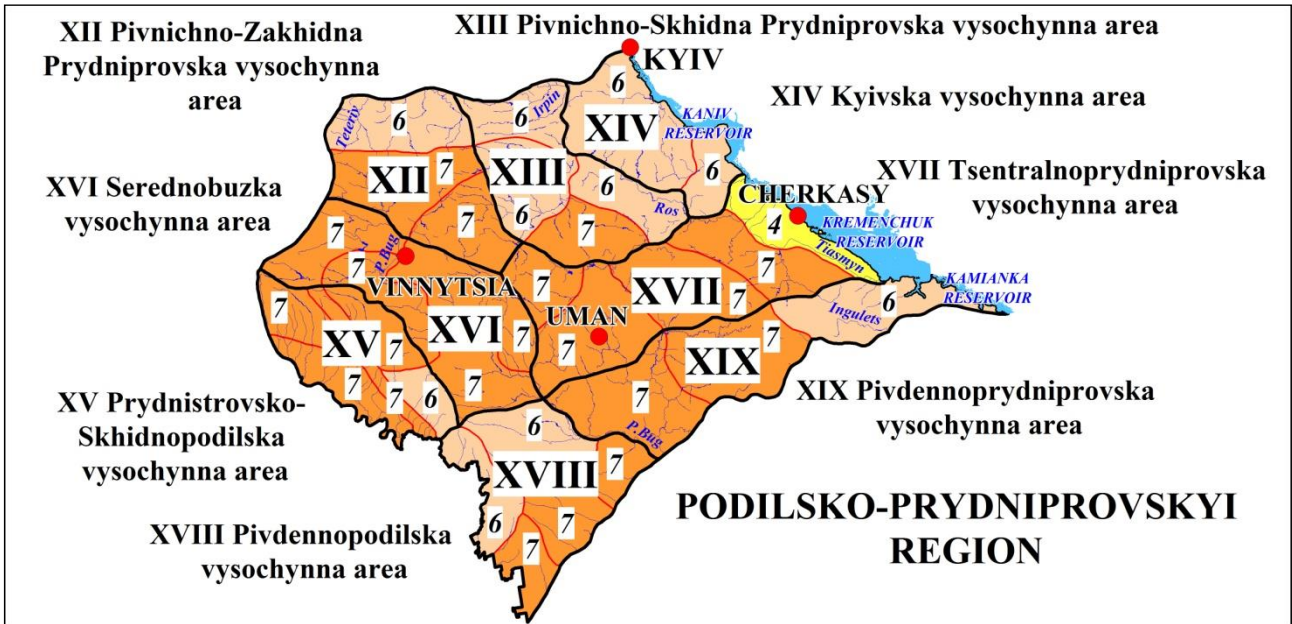


Fig. 9. Digital choropleth of the anthropogenic impact on the physico-geographic districts of the Podilsko-Prydniprovskiyi region.

Legend: boundaries of the physico-geographic taxons: — — region and areas, — — districts; XII...XIX – codes of the physico-geographic areas; 4...7 – districts' anthropogenic impact category in Table 2

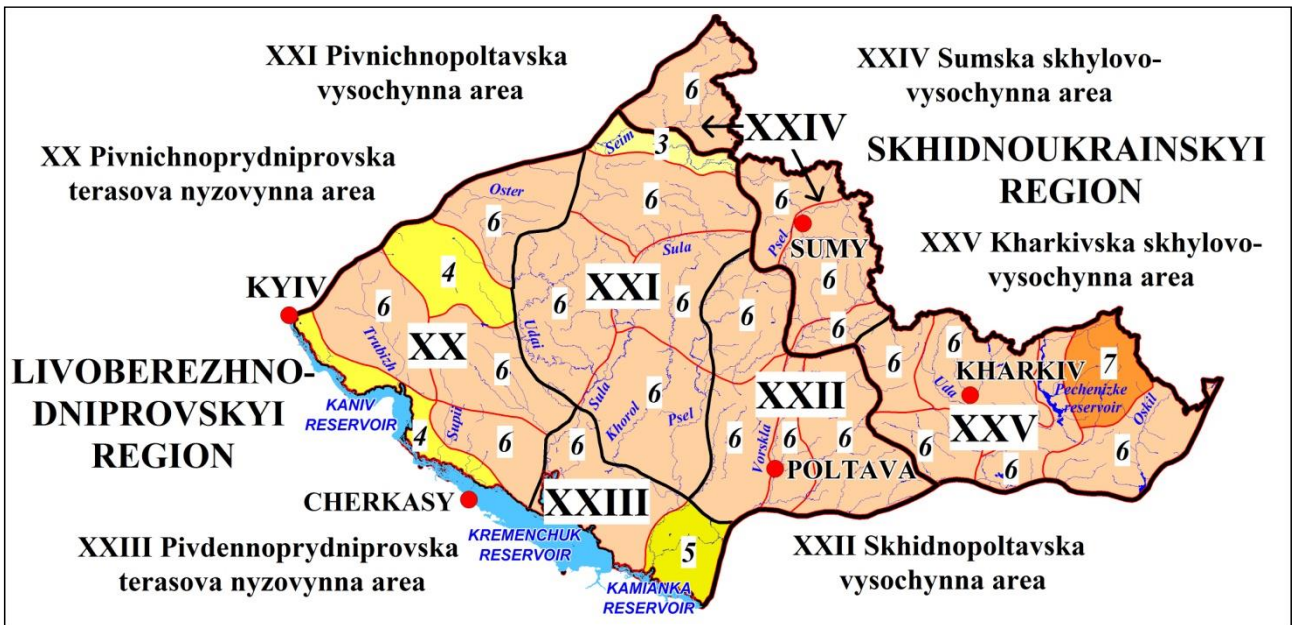


Fig. 10. Digital choropleth of the anthropogenic impact on the physico-geographic districts of the Livoberezhnodniprovskiyi and the Skhidnoukrainskiyi regions.

Legend: boundaries of the physico-geographic taxons: — — regions, — — areas, — — districts; XX...XV – codes of the physico-geographic areas; 4...7 – districts' anthropogenic impact category in Table 2

impact of the 1<sup>st</sup> level. The Protsivko-Lipliavskiyi and the Nosivsko-Lynovytskyi physico-geographic districts are also in this list (see Fig. 4). Anthropogenic impact on them is determined as high-categorical moderate-strong of the 2<sup>nd</sup> level, which is caused by the close to rectilinear cumulative distribution (code 4 according to Table 2).

The *Skhidnoukrainskiyi* region of the forest-step-

pe zone (see Fig. 10) is essentially anthropized in the test megaregion. In ten physico-geographic districts of the region there is practically no variability of the LULC system areas' cumulative distributions. In 90% of these districts, a concave distribution is simulated, which is corresponding to the low-categorical strong anthropogenic impact on the districts (code 6 in Table 2). And the Bilokolodiazko-



Velykoburlutskyi district fell already under a high-categorical strong impact, which is determined by an essentially concave cumulative distribution (code 7).

In general, the above results, concerning verification of the classified scheme in Table 2 as a model analysis tool, firstly, confirm the validity of the proposed methodical approaches. Secondly, these results in content do not contradict the results of the anthropization extent simulation for the physic-geographic taxons of the same megaregion, realized in our works [2, 21, 22] with application of the average-weighted anthropization indexes according to the model (1). However, the model results obtained and presented in Fig. 6-10 are more parametrically diverse. This is caused by the fact that the tools of Scheme 2 are more informative and statistically effective for identification of anthropogenic impact on landscapes and physic-geographic taxons than the average-weighted and other calculating anthropization indexes or schemes for consideration the impact of only dominant LULC systems.

**Conclusions.** The classified scheme of the land use and/or land cover (LULC) system areas' cumulative distribution in landscapes and/or physic-geographic taxons was substantiated and constructed as analytical tool for modeling anthropogenic impact on landscapes / taxons. The scheme is based on the concept that the types of the mentioned distribution in its shape are adequate a certain category and the intensity of anthropogenic impact on landscapes or taxons.

Properly the distribution of LULC system areas was typified by the ranges for the parameter of pol-

ynomial trends in the cumulative graphs of these areas in landscapes or their aggregations. Under these conditions, the scheme of areas' cumulative distribution operates with ten types of distribution – from excessively convex to excessively concave. These types also reflect different anthropogenic impacts on taxons – from weak to excessively strong.

Verification of the scheme calculating LULC system areas' cumulative distribution was realized for the test megaregion, including 30 physic-geographic areas and 130 physic-geographic districts of the five regions in the zones of mixed (coniferous / broad-leaved) and broad-leaved forests and forest-steppe of Ukraine. Relevant digital choropleths concerning anthropogenic impact on these taxons were simulated and analyzed. The verification affirmed the validity of the proposed new methodical approaches and their advantages over modeling of anthropogenic impact on landscapes using average-weighted and other calculating anthropization indexes and schemes.

The developed model tools and the results of its verification are applicable for the improvement of procedures, schemes and projects of environmental management for plain terrestrial landscapes and their aggregations in midlatitudes.

Prospects for further research are to realize regionalized model assessments of the conditionality and peculiarities of anthropogenic impact on physic-geographic taxons by analyzing the quasi-spectra of partial anthropization indexes and areas of LULC systems in the taxons.

### Bibliography

1. Samoilenko V. *Modern procedure of landscape anthropization analysis* / V. Samoilenko, V. Plaskalniyi // *Problems of Geography*. – 2017. – Vol. 1-2. – Sofia: Bulgarian Academy of Science, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography. – P. 31-42. – Available at: [http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2017/10/2017\\_12/2\\_samoilenko.pdf](http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2017/10/2017_12/2_samoilenko.pdf)
2. Самойленко В.М. *Антропоізація ландшафтів: монографія* / В.М. Самойленко, І.О. Діброва, В.В. Пласкальний. – К.: Ніка-Центр, 2018. – 232 с. – Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Антропоізація%20landchaftiv\\_Samoylenko.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Антропоізація%20landchaftiv_Samoylenko.pdf)
3. Walz U., Stein C. *Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany* // *Journal for Nature Conservation*. – 2014. – Vol. 22. – P. 279-289. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>
4. *IOER Monitor – Monitor of Settlement and Open Space Development*. – Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development, 2018. – Web source: <http://www.ioer-monitor.de>
5. Winter S. *Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management* // *Forestry*. – 2012. – Vol. 85, No. 2. – P. 293-304. – Available at: <https://doi.org/10.1093/forestry/cps004>
6. Paracchini M.L., Capitani C. *Implementation of a EU wide indicator for the rural-agrarian landscape*. – JRC scientific and technical reports (EUR 25114 EN-2011). – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 89 p. – Available at: <http://dx.doi.org/10.2788/25137>
7. Eurostat Statistics Explain: Agri-environmental indicator – landscape state and diversity. – 2012. – Web source: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>
8. Csorba P., Szabó S. *Degree of human transformation of landscapes: a case study from Hungary* // *Hungarian Geographical Bulletin*. – 2009. – Vol. 58. – No 2. – P. 91-99. – Available at: [http://www.mtafki.hu/konyvtar/kiadv/HunGeoBull2009/HunGeoBull\\_2009\\_2\\_91-99.pdf](http://www.mtafki.hu/konyvtar/kiadv/HunGeoBull2009/HunGeoBull_2009_2_91-99.pdf)
9. Kiedrzyński M. et al. *Historical Land Use, Actual Vegetation and the Hemeroby levels in ecological evaluation of an urban river valley in perspective of its rehabilitation plan* // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2014. – Vol. 23. – No. 1. –

- P. 109-117. – Available at: <http://www.pjoes.com/Historical-Land-Use-Actual-Vegetation-r-and-the-Hemeroby-Levels-in-Ecological-Evaluation.89173.0.2.html>
10. Frank S. Development and Validation of a Landscape Metrics Based Approach for Standardized Landscape Assessment Considering Spatial Patterns. Statement of the PhD Candidate. – Technische Universität Dresden, 2014. – 97 p. – Available at: <https://tud.gucosa.de/api/gucosa%3A28247/attachment/ATT-1/>
  11. Wrבka T. et al. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators // *Land Use Policy*. – 2004. – V.21(3). – P.289-306. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.012>
  12. Rüdissler J. et al. Distance to nature – A new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. – *Ecological Indicators*. – 2012. – V. 15. – P. 208-216. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.027>
  13. Mercuri A.M., Florenzano A. The Long-Term Perspective of Human Impact on Landscape for Environmental Change (LoTEC) and Sustainability: From Botany to the Interdisciplinary Approach // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11(2). – P. 413-419. – Available at: <https://doi.org/10.3390/su11020413>
  14. Ellis E.C. et al. Used planet: a global history // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2013. – V. 110 (Is.20). – P. 7978-7985. – Available at: <https://dx.doi.org/10.1073%2Fpnas.1217241110>
  15. Guidelines for land use mapping in Australia: principles, procedures and definitions. – Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. – Fourth edition. – Canberra: Commonwealth of Australia, 2011. – 132 p. – Available at: <https://catalogue.nla.gov.au/Record/5739000>
  16. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. Геоекологічне обґрунтування проєктів природокористування: підручник (ел. версія). – К.: Альтерпрес, 2014. – 414 с.
  17. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. Конструктивно-географічні основи раціонального природокористування: підручник (ел. версія). – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 395 с.
  18. Гродзинський М.Д. Ландшафтна екологія: підручник. – К.: Знання, 2014. – 550 с.
  19. Самойленко В.М., Іванок Д.В. Моделювання басейнових геосистем: монографія. – К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. – 208 с. – Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Samoilenko\\_mod\\_bas.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Samoilenko_mod_bas.pdf)
  20. Kovalchuk, I., Mykytchyn, O., & Kovalchuk, A. (2020). Geoinformation modeling of anthropogenic transformation of the basin geosystems (case study of Dnister right tributaries) // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. – Series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2019. – Vol. 51. – P. 124-139. – Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-09>
  21. Samoilenko V., Dibrova I. et al. Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons // *Environmental Research, Engineering and Management*. – 2018. – Vol. 74. – No 2. – P. 67-81. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.20646>
  22. Samoilenko V., Dibrova I. Geoeological Situation in Land Use// *Environmental Research, Engineering and Management*. – 2019. – Vol. 75. – No 2. – P. 36-46. – Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.75.2.22253>
  23. Самойленко В.М., Діброва І.О. Природничо-географічне моделювання: підручник. – Київ: Ніка-Центр, 2019. – 320 с. – Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Sam\\_Dibrova\\_PG\\_model\\_2019.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Sam_Dibrova_PG_model_2019.pdf)
  24. Bossard M. et al. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report No 40. – Copenhagen: EEA, 2000. – 105 p. – Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>
  25. Самойленко В.М. Ймовірнісні математичні методи в геоекології: навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2002. – 404 с.
  26. Topuzov O., Vishnikina L., Samoilenko V. et al. Modernization of Geographic Education at High School: Geoinformation Training Models // *Information Technologies and Learning Tools*. – 2019. – Vol. 73. – №5. – P. 174-184. – Available at: <https://doi.org/10.33407/itlt.v73i5.3190>
  27. Національний атлас України (електронна версія) / Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО", ДНВП "Картографія", ДСГКК. – 2007.
  28. Climate Change Initiative Land Cover (CCI-LC) Map. – European Space Agency (ESA), 2015. – Web source: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer>
  29. Globeland30 Land Cover Map. – National Geomatics Center of China (NGCC), 2011. – Web source: <http://www.globallandcover.com/GLC30Download>

**Author's contribution:** all authors made an equal contribution to this paper.

UDC 911.5:913(477)

***Viktor Samoilenko,***

Doctor of Science (Geography), Professor, Chair of Physic Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2A Glushkov Prospekt, Kyiv, 03680, Ukraine,  
e-mail: [viksam1955@gmail.com](mailto:viksam1955@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0327-1477>;

***Volodymyr Osadchyi,***

Doctor of Science (Geography), Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Director of Ukrainian Hydrometeorological Institute, National Academy of Science of Ukraine,  
37 Nauky Prospekt, Kyiv, 02000, Ukraine,  
e-mail: [osad@uhmi.org.ua](mailto:osad@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0428-4827>;

***Liubov Vishnikina,***

Doctor of Science (Pedagogy), Professor, Chair of Geography and Procedure of Its Training,  
V. G. Korolenko National Pedagogic University of Poltava,  
2 Ostrogradskyi St., Poltava, 36003, Ukraine,  
e-mail: [lpvishnikina@gmail.com](mailto:lpvishnikina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0976-5512>;

***Ivan Dibrova,***

PhD (Geography), Associate Professor, Chair of Physic Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [ivandibrova336@gmail.com](mailto:ivandibrova336@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1157-6315>

## SHAPE OF CUMULATIVE LAND USE SYSTEMS' AREA DISTRIBUTION AS A PARAMETER OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON LANDSCAPES

**Statement of the problem and paper objective.** Current challenges address global and regional threats to biotic and landscape diversity and the urgent need for its conservation, restoration and reproduction. They make it necessary to improve the tools for conceptual, information and calculating assessment of human activities impact on the environment. That is why the study of the landscapes anthropization, i.e. the process of their transformation through human activity, and the identification of the effects of this anthropization on the environment remains the most pressing problem of geography and geoecology. Given this, the paper objective was to substantiate, develop and verify new and sufficiently informative analytical tools for modeling anthropogenic impact of the land use and/or land cover (LULC) system on landscapes and/or physic-geographic taxons.

**Methods and results.** The experience shows that the resumptive graphic solutions for the analysis of anthropogenic impact on landscapes can be correctly represented in the form of certain modified graphs of statistics. So, the classified scheme of the LULC system areas' cumulative distribution in landscapes and/or physic-geographic taxons was substantiated and constructed as analytical tool for modeling anthropogenic impact on landscapes / taxons. The scheme is based on the concept that the types of the mentioned distribution in its shape are adequate a certain category and the intensity of anthropogenic impact on landscapes or taxons. Properly the distribution of LULC system areas was typified by the ranges for the parameter of polynomial trends in the cumulative graphs of these areas in landscapes or their aggregations. Under these conditions, the scheme of areas' cumulative distribution operates with ten types of distribution – from excessively convex to excessively concave. These types also reflect different anthropogenic impacts on taxons – from weak to excessively strong.

Verification of the scheme calculating LULC system areas' cumulative distribution was realized for the test megaregion, including 30 physic-geographic areas and 130 physic-geographic districts of the five regions in the zones of mixed (coniferous / broad-leaved) and broad-leaved forests and forest-steppe of Ukraine. Relevant digital choropleths concerning anthropogenic impact on these taxons were simulated and analyzed.

**Scientific novelty and practical significance.** Scientific novelty is determined by the reason that the developed scheme and obtained model results are more parametrically diverse than in the existing procedures. This is caused by the fact that the proposed tools are more informative and statistically effective for identification of anthropogenic impact on landscapes and physic-geographic taxons than the average-weighted and other calculating anthropization indexes or schemes for consideration the impact of only dominant LULC systems. The verification of the developed tools for the test megaregion affirmed the general validity of the proposed new methodical approaches. The paper results are applicable for the improvement of procedures, schemes and projects of environmental management for plain terrestrial landscapes and their aggregations in midlatitudes.

**Keywords:** anthropogenic impact, landscapes, physic-geographic taxons, land use and/or land cover systems, modeling.

#### References

1. Samoilenko V., Plaskalniy V. (2017). Modern procedure of landscape anthropization analysis. *Problems of Geography*, 1-2: 31-42. Sofia: Bulgarian Academy of Science, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography. Available at: [http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2017/10/2017\\_12/2\\_samoilenko.pdf](http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2017/10/2017_12/2_samoilenko.pdf)
2. Samoilenko V.M., Dibrova I.O., Plaskalniy V.V. (2018). *Anthropization of Landscapes. Monograph* [in Ukrainian]. Kyiv: Nika-Center, 232. Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Antropizacia%20landchaftiv\\_Samoylenko.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Antropizacia%20landchaftiv_Samoylenko.pdf)
3. Walz U., Stein C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22: 279-289. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>
4. IOER Monitor (2018). *Monitor of Settlement and Open Space Development*. Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development. Web source: <http://www.ioer-monitor.de>
5. Winter S. (2012). Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry*, 85, 2: 293-304. Available at: <https://doi.org/10.1093/forestry/cps004>
6. Paracchini M.L., Capitani C. (2011). Implementation of a EU wide indicator for the rural-agrarian landscape. JRC scientific and technical reports (EUR 25114 EN-2011). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 89. Available at: <http://dx.doi.org/10.2788/25137>
7. Eurostat Statistics (2012). *Eurostat Statistics Explain: Agri-environmental indicator – landscape state and diversity*. Web source: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>
8. Csorba P., Szabó S. (2009). Degree of human transformation of landscapes: a case study from Hungary // *Hungarian Geographical Bulletin*, 58, 2: 91-99. Available at: [http://www.mtafk.hu/konyvtar/kiadv/HunGeoBull2009/HunGeoBull\\_2009\\_2\\_91-99.pdf](http://www.mtafk.hu/konyvtar/kiadv/HunGeoBull2009/HunGeoBull_2009_2_91-99.pdf)
9. Kiedrzyński M. et al. (2014). Historical Land Use, Actual Vegetation and the Hemeroby levels in ecological evaluation of an urban river valley in perspective of its rehabilitation plan. *Pol. J. Environ. Stud.*, 23, 1: 109-117. Available at: <http://www.pjoes.com/Historical-Land-Use-Actual-Vegetation-r-nand-the-Hemeroby-Levels-in-Ecological-Evaluation,89173,0,2.html>
10. Frank S. (2014). *Development and Validation of a Landscape Metrics Based Approach for Standardized Landscape Assessment Considering Spatial Patterns*. Statement of the PhD Candidate. Technische Universität Dresden, 97. Available at: <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A28247/attachment/ATT-1/>
11. Wróbkę T. et al. (2004). Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. *Land Use Policy*, 21(3): 289-306. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.012>
12. Rüdiger J. et al. (2012). Distance to nature – A new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. *Ecological Indicators*, 15: 208-216. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.027>
13. Mercuri A.M., Florenzano A. (2019). The Long-Term Perspective of Human Impact on Landscape for Environmental Change (LoTEC) and Sustainability: From Botany to the Interdisciplinary Approach. *Sustainability*, 11(2): 413-419. Available at: <https://doi.org/10.3390/su11020413>
14. Ellis E.C. et al. (2013). Used planet: a global history. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 110, 20: 7978-7985. Available at: <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.1217241110>
15. *Guidelines for land use mapping in Australia: principles, procedures and definitions* (2011). Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. Fourth edition. Canberra: Commonwealth of Australia, 132. Available at: <https://catalogue.nla.gov.au/Record/5739000>
16. Shyshchenko P.G., Gavrylenko O.P. (2014). *Geocological rationale of environmental management projects*. Textbook (el. version) [in Ukrainian]. Kyiv: Alterpress, 414.
17. Shyshchenko P.G., Gavrylenko O.P. (2015). *Constructive-geographic bases of rational environmental management*. Textbook (el. version) [in Ukrainian]. Kyiv: SE "Print Service", 395.
18. Grodzynskyi M.D. (2014). *Landscape ecology*. Textbook [in Ukrainian]. Kyiv: Znannia, 550.
19. Samoilenko V.M., Ivanok D.V. (2015). *Modeling of basin geosystems*. Monograph [in Ukrainian]. Kyiv: SE "Print Service", 208. Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Samoilenko\\_mod\\_bas.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Samoilenko_mod_bas.pdf)
20. Kovalchuk, I., Mykytychyn, O., & Kovalchuk, A. (2019). Geoinformation modeling of anthropogenic transformation of the basin geosystems (case study of Dnister right tributaries). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 51: 124-139. Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-09>
21. Samoilenko V., Dibrova I. et al. (2018). Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons. *Environmental Research, Engineering and Management*, 74, 2: 67-81. Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.arem.74.2.20646>
22. Samoilenko V., Dibrova I. (2019). Geocological Situation in Land Use. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75, 2: 36-46. Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.arem.75.2.22253>
23. Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2019). *Natural-geographic Modeling*. Textbook [in Ukrainian]. Kyiv: Nika-Center, 320. Available at: [http://geo.univ.kiev.ua/images/doc\\_file/navch\\_lit/Sam\\_Dibrova\\_PG\\_model\\_2019.pdf](http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Sam_Dibrova_PG_model_2019.pdf)
24. Bossard M. et al. (2000). *CORINE land cover technical guide – Addendum 2000*. Technical report No 40. Copenhagen: EEA, 105. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>

25. Samoilenko V. (2002). *Probabilistic mathematical methods in geocology. Manual [in Ukrainian]*. Kyiv: Nika-Center, 404.
26. Topuzov O., Vishnikina L., Samoilenko V. et al. (2019). *Modernization of Geographic Education at High School: Geoinformation Training Models. Information Technologies and Learning Tools*, 73, 5: 174-184. Available at: <https://doi.org/10.33407/itlt.v73i5.3190>
27. *National Atlas (2007). National Atlas of Ukraine (electronic version) [in Ukrainian]*. Institute of Geography NASU, SRPE "Cartography" et al.
28. European Space Agency (ESA) (2015). *Climate Change Initiative Land Cover (CCI-LC) Map*. Web source: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer>
29. *Globeland30 Land Cover Map (2011). National Geomatics Center of China (NGCC)*. Web source: <http://www.globallandcover.com/GLC30Download>

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До „Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна”, серія „Геологія. Географія. Екологія”, приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською, російською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими – фахівцями у даній тематичі.

Матеріали подаються у друкованому або в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту [geoeco-series@karazin.ua](mailto:geoeco-series@karazin.ua). Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки.

Згідно вимог ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (не менше ніж 1800 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською, російською й англійською мовами. Кількість авторів не повинна перевищувати 3 (як виключення – до 5). Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Барташук,**

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназія наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**СИСТЕМНА ОРГАНІЗАЦІЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЇ ТЕКТОНІКИ КОНСОЛІДОВАНОГО ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ.**

Стаття є заключною частиною трилогії, що висвітлює системну організацію розломної тектоніки кристалічного фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту (ДДП). При регіональних геотектонічних дослідженнях структурних рисунків розломних систем докембрійського фундаменту вперше виявлено ансамблі структур об'ємної тектонічної течії, які зумовлені здвиговими деформаціями кристалічних гірських порід і горизонтальними переміщеннями геомасивів в межах цієї рифтогенної внутрішньоплитної геоструктури Сарматської плити. ...

**Ключові слова:** деформації горизонтального здвигу, структурний рисунок, механізми тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез.

**А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА.** Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского фундамента впервые выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты. ...

**Ключевые слова:** деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

**Вступ.** Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізмами об'ємної течії гірських порід. ...

**Література**

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] / А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3. – С. 36-54.
2. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.

UDC 551.243.8:550.8(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Associate Professor, Head of Department of natural gas resources, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, 20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**SYSTEM ORGANIZATION OF DISJUNCTIVE TECTONICS OF CONSOLIDATED BASEMENT IN DNIPRO-DONETS PALEORIFT**

**Formulation of the problem.** Getting knowledge of the processes and mechanisms of the rocks tectonic flow is important both for geotectonics and for oil and gas geology as horizontal displacements and rotation of geological blocks in creep dislocations form secondary deformation structures. ...

**Keywords:** horizontal strike-slip deformation, structural pattern, tectonic flow structure, structural kinematic paragenesis.

**References**

1. Peyve, A. (1961). *Tectonics and magmatism*. M., Academy of Sciences of USSR, Vol. Geol., 36-54.
2. Burtman, V., Luk'yanov, A., Peyve, A., Ruzhentsev, S. (1963). *Horizontal displacements by faults & some methods of study*. M., Academy of Sciences of USSR, 5-33.

Наукове видання

**ВІСНИК**  
**ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**імені В. Н. КАРАЗІНА**

серія  
**«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»**

**Випуск 53**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Українською, російською та англійською мовами

Редактор К. А. Немець  
Технічний редактор О. В. Чуєнко  
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко  
Відповідальний за випуск К. А. Немець

Підписано до друку 30.11.2020 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 27,5. Обл.–вид. арк. 31,2.  
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–15. Ціна договірна.

---

Видавець та виготовлювач  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
61022, Харків, майдан Свободи, 4,  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.