

ISSN 2410-7360 (Print)  
ISSN 2411-3913 (Online)

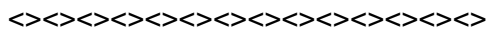
Міністерство освіти і науки України

# ВІСНИК

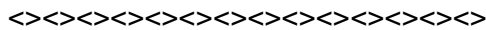
ХАРКІВСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
імені В. Н. КАРАЗІНА

СЕРІЯ

“ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ”



**Випуск 50**



Заснована 1970 року

Харків  
2019

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 № 6 від 27.05.2019 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. *С. В. Костриков*; 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. Пересадько*; д. геол.-мін. н., проф. *В. Г. Суярко*; 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); д. геол.-мін. н., проф. *В. М. Загнітко* (Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка); д. фіз.-мат. н., проф. *Г. Д. Коваленко* (науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»).

**Іноземні члени редколегії:** д. географії, проф. *О. С. Володченко* (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геогр. н., проф., зав. каф. географії, геоелекології 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. 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 у галузі геології і географії (наказ МОН України № 1328 від 21.12.2015 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 № 21574-11474 Р від 20.08.2015.

## **EDITORIAL BOARD**

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

**Niemets Kostyantyn** – Chairman of the Editorial Board, Doctor of Geography, Professor, Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism (FGGRT), V. N. Karazin Kharkiv National University (V. N. Karazin KNU).

**Chuienko Oleksandr** – Executive Secretary, Head of interdepartmental training laboratory for the study of rocks, minerals and fossil organisms, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Vysochansky Ilarion** – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Professor of the Department of Geology FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Kostrikov Sergiy** – Doctor of Geography, Professor, Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Kraynyukov Oleksiy** – Doctor of Geography, Professor, Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education, Department of Ecology, V. N. Karazin KNU.

**Lurye Anatoly** – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Professor of the Department of Hydrogeology, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Nekos Alla** – Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education, Department of Ecology, V. N. Karazin KNU.

**Niemets Liudmyla** – Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Peresadko Vilina** – Doctor of Geography, Professor, Dean of FGGRT, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, V. N. Karazin KNU.

**Suyarko Vasyl** – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Professor of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Fyk Ilyya** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Chervaniov Igor** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, FGGRT, V. N. Karazin KNU.

**Biletsky Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

**Zhovinsky Eduard** – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine, M. P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the NAS of Ukraine.

**Zagnitko Vasyl** – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

**Kovalenko Grygory** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Research institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems", Kharkiv.

## **INTERNATIONAL COUNCIL**

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

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

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

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

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

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

## З М І С Т

### ХРОНІКА

- ПАМ'ЯТІ Артура Павловича ГОЛІКОВА (1937-2018) ..... 8  
*Матвеев А. В., Патук І. О.*  
ІСТОРІЯ ВИДАНЬ ГЕОЛОГІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ .. 10

### ГЕОЛОГІЯ

- Aliyev A. A., Abbasov O. R., Agayev A. M.*  
MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF OIL SHALE IN AZERBAIJAN:  
CLASSIFICATION, PALAEOWEATHERING AND MATURITY FEATURES ..... 11  
*Барташук О. В., Суярко В. Г.*  
ГОРИЗОНТАЛЬНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГЕОМАСИВІВ У КОНТИНЕНТАЛЬНИХ  
РИФТОГЕННИХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКОГО-  
ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТА). ЧАСТИНА 2. СТРУКТУРНІ ПАРАГЕНЕЗИ  
ЗСУВНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ОСАДОВОГО ЧОХЛА ..... 27  
*Безродная И. Н., Безродный Д. А., Козионова О. А.*  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ И  
УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ  
ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ ..... 42  
*Стеценко В. В., Зайченко В. В.*  
ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛОГІЧНОЇ ВАРІАТИВНОСТІ ЗАЛІЗИСТИХ  
КВАРЦИТІВ ПРОДУКТИВНОЇ ТОВЩИ ПЕТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА  
(З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМИ  $M_M-M_O$ ) ..... 54  
*Фук І. М., Фук М. І., Фук І. М.*  
ПЕРСПЕКТИВИ ДОВГОСТРОКОВОЇ РОЗРОБКИ ШЕБЕЛИНСЬКОГО  
ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАПАСІВ ..... 63

### ГЕОГРАФІЯ

- Achasov A. B., Achasova A. O., Siedov A. O.*  
THE USE OF RELIEF DIGITAL MODELS FOR DETAILED MAPPING OF SLOPE SOILS .. 77  
*Grytsevych V. S., Podvirna Kh. Ye., Senkiv M. I.*  
MOTOR TRANSPORT NETWORK OF WESTERN REGION OF UKRAINE  
AS A FACTOR OF DEVELOPMENT OF TOURISM INDUSTRY ..... 91  
*Kostrikov S. V.*  
URBAN REMOTE SENSING WITH LIDAR FOR  
THE SMART CITY CONCEPT IMPLEMENTATION ..... 101  
*Margaryan V. G.*  
ASSESSMENT OF CLIMATIC TREND OF AIR TEMPERATURE  
AT THE EARTH SURFACE IN THE CONTEXT OF STABLE  
DEVELOPMENT (ON THE PATTERN OF GYUMRI CITY) ..... 125



<i>Ovcharuk V. A., Prokofiev O. M., Todorova O. I., Kichuk N. S.</i> THE STUDY OF THE PERIODICITY OF CATASTROPHIC SPRING FLOODS ON THE TERRITORY OF UKRAINE .....	136
<i>Pavlovska T. S., Pohrebskyi T. H., Golub G. S., Poruchynsky V. I.</i> URBAN POPULATION OF VOLN REGION: RESETTLEMENT AND DYNAMICS .....	148
<i>Pankratenkova D. O.</i> CONSTRUCTIVE-GEOGRAPHIC FOUNDATIONS OF NATURE MANAGEMENT ON THE NORTH-WESTERN COAST OF THE BLACK SEA .....	159
<i>Polishchuk L. B., Reshetchenko S. I., Cherkashyna N. I.</i> IDENTIFICATION OF CLIMATE CHANGES BASED ON ANTROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDSCAPES .....	168

## **ЕКОЛОГІЯ**

<i>Maksymenko N. V., Titenko G. V., Utkina K. B., Nekos A. N., Shkarubo A. D.</i> SOLVING CURRENT ENVIRONMENTAL PROBLEMS BY HARMONIZATION OF DOCTORAL PROGRAMS WITH EUROPEAN STANDARDS .....	178
<i>Opara V. M., Buzina I. M., Khainus D. D.</i> LANDSCAPE-ECOLOGICAL INVESTIGATIONS MAPPING OF V.V. DOKUCHAYIV KHNAU ARBORETUM'S TERRITORY .....	197
<i>Fedoniuk M. A., Fedoniuk V. V., Ivantsiv V. V.</i> POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF PRECIPITATION IN THE CITY (A CASE OF LUTSK) .....	210

<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» .....</b>	<b>220</b>
---	------------

## CONTENT

### CHRONICLE

IN THE MEMORY OF Artur Pavlovich GOLIKOV (1937-2018) .....	8
<i>Matveev A. V., Patik I. O.</i>	
HISTORY OF PUBLICATIONS OF THE GEOLOGICAL DEPARTMENT OF THE KHARKOV UNIVERSITY .....	10

### GEOLOGY

<i>Aliyev Adil, Abbasov Orhan, Agayev Agamehdi</i>	
MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF OIL SHALE IN AZERBAIJAN: CLASSIFICATION, PALAEOWEATHERING AND MATURITY FEATURES .....	11
<i>Bartashchuk Oleksii, Suyarko Vasyl</i>	
HORIZONTALLY DEPLACEMENT GEOMASSES IN THE CONTINENTAL RIFT GEOSTRUCTURES (ON THE EXAMPLE OF THE DNIPRO-DONETS PALEORIFT). PART 2. STRUCTURAL PARAGENESES OF THE REID DEFORMATION OF THE SEDIMENTARY COVER .....	27
<i>Bezrodna Iryna, Bezrodnyi Dmytro, Kozionova Olesia</i>	
MATHEMATICAL MODELING OF THE ACOUSTIC AND ELASTIC ANISOTROPY OF THE SHALE RESERVOIR ROCKS OF THE DNIPRO-DONETSK DEPRESSION .....	42
<i>Stetsenko Viacheslav, Zaichenko Valeriya</i>	
STUDY OF MINERALOGICAL VARIABILITY OF FERRUGINOUS QUARTZITES OF PRODUCTIVE STRATA OF THE EASTERN WING OF THE PETROVSKY SYNCLINAL FOLD WITH USING DIAGRAM $M_M-M_O$ .....	54
<i>Fyk Ilya, Fyk Mykhailo, Fyk Ilya</i>	
PROSPECTS OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF SHEBELYNKA GAS-CONDENSATE DEPOSIT IN CONDITIONS OF STOCKS RECOVERY .....	63

### GEOGRAPHY

<i>Achasov Andriy, Achasova Alla, Siedov Arkadiy</i>	
THE USE OF DIGITAL ELEVATION MODELS FOR DETAILED MAPPING OF SLOPE SOILS .....	77
<i>Grytsevych Volodymyr, Podvirna Khrystyna, Senkiv Mariana</i>	
MOTOR TRANSPORT NETWORK IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE AS A FACTOR OF TOURISM INDUSTRY DEVELOPMENT .....	91
<i>Kostrikov Sergiy</i>	
URBAN REMOTE SENSING WITH LIDAR FOR THE SMART CITY CONCEPT IMPLEMENTATION .....	101
<i>Margaryan Varduhi</i>	
ASSESSMENT OF CLIMATIC TREND OF AIR TEMPERATURE AT THE EARTH SURFACE IN THE CONTEXT OF STABLE DEVELOPMENT (CASE OF GYUMRI CITY) ...	125

<i>Ovcharuk Valeriya, Prokofiev Oleg, Todorova Olena, Kichuk Natalia</i> THE STUDY OF THE PERIODICITY OF CATASTROPHIC SPRING FLOODS ON THE TERRITORY OF UKRAINE .....	136
<i>Pavlovska Tetiana, Pohrebskyi Taras, Golub Gennadii, Poruchynsky Volodymyr</i> URBAN POPULATION OF VOLYN REGION: RESETTLEMENT AND DYNAMICS .....	148
<i>Pankratenkova Daria</i> CONSTRUCTIVE-GEOGRAPHIC FOUNDATIONS OF NATURE MANAGEMENT ON THE NORTH-WESTERN COAST OF THE BLACK SEA .....	159
<i>Polishchuk Liydmila, Reshetchenko Svitlana, Cherkashyna Nadyia</i> IDENTIFICATION OF CLIMATE CHANGES BASED ON ANTROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDSCAPES .....	168

## **ECOLOGY**

<i>Maksymenko Nadiya, Titenko Ganna, Utkina Kateryna, Nekos Alla, Shkaruba Anton</i> SOLVING CURRENT ENVIRONMENTAL PROBLEMS BY HARMONIZATION OF DOCTORAL PROGRAMS WITH EUROPEAN STANDARDS .....	178
<i>Opara Volodymyr, Buzina Iryna, Khainus Dmytro</i> LANDSCAPE-ECOLOGICAL INVESTIGATIONS MAPPING OF V. V. DOKUCHAYIV KHNAU ARBORETUM'S TERRITORY .....	197
<i>Fedoniuk Mykola, Fedoniuk Vitalina, Ivantsiv Vasyl</i> POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF PRECIPITATION IN THE CITY (A CASE OF LUTSK) .....	210

<b>REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE "VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY" .....</b>	<b>220</b>
---	------------

# ХРОНІКА

## ПАМ'ЯТІ Артура Павловича ГОЛІКОВА (1937-2018)



5 грудня 2018 р. Каразінський університет і світова географічна наука понесли тяжку втрату – пішов з життя видатний вчений, гуру регіонального аналізу, учитель кількох поколінь українських економістів-міжнародників, один із авторів сучасної схеми економічного районування України, доктор географічних наук, засновник і професор кафедри міжнародних економічних відносин, завідувач кафедри фізичної географії та картографії, один із засновників факультету міжнародних економічних відносин та туристичного бізнесу, заслужений професор Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії наук вищої школи України *Артур Павлович Голіков*. Одна людина, але така багатогранна...

Артур Павлович народився 8 грудня 1937 р. у м. Брянськ. Понад 50 років життя А. П. Голікова було присвячено Харківському університету, переважно геолого-географічному факультету (зараз факультет геології, географії, рекреації і туризму). Тут він навчався, а з 1966 р. пов'язав з ним наукову і трудову діяльність, пройшовши шлях від інженера до професора.

Результатом дивовижної працездатності і наполегливості, ініціативності і беззаперечного лідерства, відкритості і чуйності, толерантності і щирості, широкого світогляду, непересічного інтелекту та честі стала ціла плеяда підготовлених кандидатів географічних наук (спеціальності 11.00.02 «Економічна та соціальна географія», 11.00.11 «Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів») та економічних наук зі спеціальностей 08.00.05 «Розвиток продуктивних сил і регіональна економіка» і 08.05.01 «Світове господарство і міжнародні економічні відносини». Це Викладач, який зустрічав студентів-географів, а пізніше і міжнародників, на I курсі, розкриваючи основні риси системи світового господарства, і випускав сформованих фахівців, передавши їм багаж глибоких знань з математичних методів просторового аналізу, моделювання просторової організації світогосподарських процесів, планування стратегії регіонального розвитку, транскордонного співробітництва держав, раціонального використання водних ресурсів, пошуку шляхів подолання глобальних проблем сучасності – областей, які становили коло його

наукових інтересів. Цей перелік можна продовжувати і продовжувати, бо ніколи науково-творча думка Артура Павловича не зупинялася, увесь час він був у пошуках неординарного шляху вирішення складних і цікавих водночас питань.

Голіков Артур Павлович був надзвичайною Людиною і видатним Ученим, наукова спадщина якого буде жити ще протягом багатьох років у монографіях, підручниках, наукових публікаціях загальним обсягом майже 300 публікацій, що виступають вагомим щаблем у підготовці як географів, так і економістів-міжнародників.

Далеко за межами України відома харківська наукова школа регіоналістики, засновником і натхненником якої був Голіков

Артур Павлович. Це підтверджують студенти-іноземці, які поверталися в аспірантуру Харківського університету, щоб продовжити навчання у Артура Павловича. До останніх днів Артур Павлович був сповнений творчих проєктів та ідей – зокрема закінчив редагувати підручник з курсу «Глобальні проблеми сучасності» .

Ми втратили чудового друга, толерантного Учителя, видатного Ученого, доброзичливого колегу, неординарного одностудента, родинного натхненника, чуйну Людину, котра завжди приходила на допомогу своїми діями, ідеями, пошуками. Голіков Артур Павлович завжди залишиться у серцях його близьких, друзів, колег. Світлої пам'яті!

*Колектив факультету геології, географії, рекреації і туризму  
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна  
та  
редакційна колегія «Віснику»*

*А. В. Матвеев, д. геол. н., доцент,*

*І. О. Патик, магістр,*

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

## ДО ІСТОРІЇ ПЕРІОДИЧНИХ ВИДАНЬ ГЕОЛОГІЧНОГО ВІДДІЛУ ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

У низці статей, як правило у різних ювілейних випусках, висвітлено історію Харківського університету, окремих факультетів, кафедр та напрямків але немає часопису самих видань. Безумовно періодичні видання відображають якоюсь мірою історію наукових підрозділів університету але мають і власні її риси. Під час роботи зі створення електронних версій видань геологічного відділення Харківського університету виникла необхідність висвітлити деякі факти з їх історії.

При заснуванні згідно зі статутом Імператорського Харківського університету до його структури входило чотири факультети: «нравственных» і політичних наук, фізико-математичний, медичний та філологічний. Предмети геологічного циклу вивчалися на фізико-математичному факультеті. Через два роки після заснування університету були закуплені дві колекції мінералів, які лягли в основу створеного Кабінету мінералогії, який потім перетворився в мінералогічний музей. Кафедру геології та геогнозії, при тому ж фізико-математичному факультеті, було відкрито у 1837 році. Пізніше з неї виділили у 1863 році кафедру геології і палеонтології, а пізніше, у 1884 році, знов об'єднали в кафедру геології. У 1906 році геологічні кафедри знову розділилися на кафедру геології та кафедру мінералогії. В цей час окремого видання геологічне відділення не мало. Окремі наукові праці друкувались в "Записках Харьковского университета".

У 1922 році було прийнято рішення про розширення та реорганізацію науково-дослідницької кафедри геології в Харківську науково-дослідницьку кафедру геології. В цей період також не існувало окремого геологічного видання, але три випуски Трудів Харківського товариства дослідників природи (1927, 1928, 1930 років) виходили під назвою "Наукові записки Харківської науково-дослідницької кафедри геології".

У 1930 році науково-дослідна кафедра геології була перейменована в Харківську філію Українського науково-дослідного інституту геології АН УРСР і окремого видання не мала.

У 1933 році філію Геологічного інституту було перетворено на Науково-дослідницький інститут геології Харківського державного університету. Вже з 1934 року починають виходити "Записки НИИ геологии ХГУ" при цьому їх нумерація почалась з випуску №4, очевидно були враховані випуски 1927-1930 років.

Після повернення університету до Харкова, у 1943 році, геолого-географічний факультет було розділено на два самостійних факультети – геологічний і географічний. Перший повоєнний випуск №9 "Записок..." вийшов у 1948 році, а вже у 1950 (випуск 10) і до 1962 (випуск 15) виходив під назвою "Записки геологического факультета".

У 1960 році геологічний і географічний факультети було об'єднано і створено геолого-географічний факультет Харківського державного університету. В цей час розпочинається випуск "Вісника Харківського університету" в межах якого виходять окремі серії, нумерація випусків різних серій наскрізна.

Вже за №2 (1964) вийшов випуск "Географічної серії" втім у передмові до видання значиться "Настоящий выпуск является первым из серии научных трудов работников геолого-географического факультета ... . Издание данной серии является продолжением отдельных публикаций "Записок геологического отделения" ... и "Трудов географического отделения" ..., входивших в состав "Ученых записок Харьковского университета", издававшихся до 1964 г." (підкреслено нами). Оскільки подальших реорганізацій факультету не відбувалось, треба саме цей випуск вважати першим випуском "Вісника геолого-географічного факультету", а роком його заснування 1964.

# ГЕОЛОГІЯ

UDC 622.337.2:553.98.061.17

**Adil A. Aliyev,**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor,  
Head of Department of Mud Volcanism, Institute of Geology and Geophysics,  
Azerbaijan National of Academy Sciences, H. Javid ave., 119, Baku, AZ1143, Azerbaijan,  
e-mail: [ad\\_aliyev@mail.ru](mailto:ad_aliyev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7731-9525>;

**Orhan R. Abbasov,**

PhD (Earth Sciences), Associate Professor, Senior Researcher of Department of Mud Volcanism,  
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National of Academy Sciences,  
H. Javid ave., 119, Baku, AZ1143, Azerbaijan,  
e-mail: [ortal80@bk.ru](mailto:ortal80@bk.ru), <http://orcid.org/0000-0003-2135-7984>;

**Agamehdi M. Agayev,**

PhD (Chemical Sciences), Associate Professor of Faculty of Geological Exploration,  
Azerbaijan State Oil and Industry University, Azadlig ave., 20, AZ1010, Baku, Azerbaijan,  
e-mail: [agamehti.agaev@gmail.com](mailto:agamehti.agaev@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1195-1971>

## MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF OIL SHALE IN AZERBAIJAN: CLASSIFICATION, PALAEOWEATHERING AND MATURITY FEATURES\*

*Ад. А. Алиев, О. Р. Аббасов, А. М. Агаев. МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ ПАЛЕОВЫВЕТРИВАНИЯ И ЗРЕЛОСТИ. В научно-исследовательской работе широко рассмотрены наземные выходы горючих сланцев Шамахи-Гобустанского и Апшеронского районов, а также среди выбросов грязевых вулканов Азербайджана. В соответствии с распространением в породах как главных, так и микроэлементов, на основании опубликованных материалов был проведен сравнительный анализ со средними, средне-черными сланцами, составом сланцев Северной Америки, пост-архейскими сланцами Австралии, а также горючими сланцами Эстонии, Иордании, США и др. На основе известных классификаций рассматриваются характеристики стабильности оксидов главных элементов и оцениваются признаки зрелости. Свойства выветривания широко прокомментированы на основании различных индексов, в том числе «Индекса изменения в соответствии с компонентом (ИИСК)», «Индекса химических изменений (ИХИ)», а также анализами результатов диаграмм, связанных с элементным составом.*

*В составе образцов определено 11 минералов 5 классов, в которых преобладают силикаты. Используемая классификационная диаграмма  $\log (SiO_2/Al_2O_3)$  и  $\log (Fe_2O_3/K_2O)$  показывает, что все исследованные образцы соответствуют сланцам.*

*Соотношение  $K_2O/Al_2O_3$  подтверждает превосходство глинистых минералов в составе горючих сланцев по сравнению с К-минералами, включая К-полевой шпат. Оценки на основе  $Al_2O_3/(CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$  и  $Fe_2O_3/K_2O$ ,  $SiO_2/Al_2O_3$  подтверждают нестабильность оксидов и минералов в образцах. Кроме того, соотношения  $SiO_2/Al_2O_3$  и  $Al_2O_3 > Fe_2O_3 > TiO_2$  подтверждают незрелость и связь с глинистыми минералами.*

*Значения ИХИ и диаграммы зависимости ИХИ от ИИСК, ИХИ от  $Al/Na$  и  $A-CN-K$ , а также исследования, связанные с содержанием главного оксида, подтверждают среднюю и высокую степень выветривания. Протолит сланцев связан с мафическими и промежуточными изверженными источниками.*

**Ключевые слова:** горючие сланцы, геохимия, минерал, классификация, зрелость, выветривание.

*Ад. А. Алиев, О. Р. Аббасов, А. М. Агаев. МИНЕРАЛОГІЯ І ГЕОХІМІЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦІВ В АЗЕРБАЙДЖАНІ: КЛАСИФІКАЦІЯ, ОСОБЛИВОСТІ ПАЛЕОВИВІТРЮВАННЯ І ЗРІЛОСТІ. У науково-дослідній роботі широко розглянуті наземні виходи горючих сланців Шамах-Гобустанський і Апшеронський районів, а також серед викидів грязьових вулканів Азербайджану. Відповідно до поширення в породах як головних, так і мікроелементів, на підставі опублікованих матеріалів був проведений порівняльний аналіз із середніми, середньо-чорними сланцями, складом сланців Північної Америки, пост-архейськими сланцями Австралії, а також горючими сланцями Естонії, Йорданії, США та ін. На основі відомих класифікацій, розглядаються характеристики стабільності оксидів головних елементів і оцінюються ознаки зрілості. Властивості вивітрювання широко прокоментовані на підставі різних індексів, в тому числі «Індекса зміни відповідно до компонента (ІЗВК)», «Індекса хімічних змін (ІХЗ)», а також аналізами результатів діаграм, пов'язаних з елементним складом.*

*У складі зразків визначено 11 мінералів 5 класів, в яких переважають силікати. Використовувана класифікаційна діаграма  $\log SiO_2 / Al_2O_3$  і  $\log (Fe_2O_3 / K_2O)$  показує, що всі досліджені зразки відповідають сланцям.*

*Співвідношення  $K_2O / Al_2O_3$  підтверджує перевагу глинистих мінералів у складі горючих сланців в порівнянні з К-мінералами, включаючи К-польовий шпат. Оцінки на основі  $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$  і  $Fe_2O_3 / K_2O$ ,  $SiO_2 / Al_2O_3$  підтверджують нестабільність оксидів і мінералів в зразках. Крім того, співвідношення  $SiO_2 / Al_2O_3$  і  $Al_2O_3 > Fe_2O_3 > TiO_2$  підтверджують незрілість і зв'язок з глинистими мінералами.*

*Значення ІХЗ і діаграми залежності ІХЗ від ІЗВК, ІХЗ від  $Al / Na$  і  $A-CN-K$ , а також дослідження, пов'язані з утриманням головного оксиду, підтверджують середню і високу ступінь вивітрювання. Протоліт сланців пов'язаний з мафічними і проміжними виверженими джерелами.*

**Ключові слова:** горючі сланці, геохімія, мінерал, класифікація, зрілість, вивітрювання.

**Introduction.** The South Caspian Basin (SCB) is located in the collision zone between the Arabian and Eurasian plates which is subjected to intensive sedimentation. Such tectonic and paleodepositional features have created a favorable condition for the formation of hydrocarbons, mud volcanoes, especially oil shale in the Paleogene-Miocene sediments in Shamakhi-Gobustan and Absheron regions.

About 60 oil shale manifestations and deposits were recorded in these regions [41]. Along with outcrops, oil shale is also found in ejecta of mud volcanoes, which are widely spread both in Shamakhi-Gobustan and Absheron regions [1; 3; 4; 10; 22].

The study is aimed to investigate the chemical classifications, provenience, palaeoweathering and maturity characteristics of oil shale in the research regions based on the geochemical and mineralogical features.

#### **Analysis of recent research and publications.**

Information about oil shale in Azerbaijan is known as early as the beginning of the 20th century. This information was brief, because researchers, especially Russian scientists described only the outcrops of oil shale recorded during the study of the geological structure, tectonic properties and hydrocarbon potential of the territory of Azerbaijan [1].

In the middle of the century, the investigations on the study of oil shale have been relatively expanded, and several scientific papers and reports related to some fields and manifestations have been published [1; 3; 5; 6; 10; 22].

In later periods, the question of the study of non-traditional oil shale in Azerbaijan has not been enough actual. Of course, the main reason for this was the existence of large reserves of oil and gas in the territory of the Republic [1].

Since the beginning of 2000, the issue of studying oil shale has been resumed in the Department of "Mud Volcanism" of the Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences. The geological and organic-geochemical features, as well as the probable resources and using the potential of oil shale of the Shamakhi-Gobustan, Absheron, Guba, Ismayilli regions of Azerbaijan, have been widely commented in the papers of a number of scientists of the Department [1-6; 9; 10; 12-14; 22; 41].

There are no any available studies conducted by Azerbaijani and foreign researchers that have been devoted to issues such as mineralogy, classification, provenance, etc. based on the inorganic chemical properties of oil shale found in Paleogene-Miocene sediments in the country. Though there are many published literature devoted to these studies in countries where oil shale has long been investigated [8; 15; 17; 28; 30; 38; 44; 45]. In this regard, this

study is the first attempt to investigate the classifications, provenience, palaeoweathering and maturity characteristics of oil shale in Azerbaijan.

**Geological settings.** Shamakhi-Gobustan region – occupies a significant part of the south-eastern plunge of the Greater Caucasus. The Mesozoic and Quaternary formations take part in the geological structure of the region [1; 11]. About 40 outcrops of oil shale associated with Upper Cretaceous-Miocene sediments were registered here [5; 6; 22; 41]. The layers of oil shale of the Upper Cretaceous are thin, and the content of organic matter is relatively low [1; 2]. The region is characterized by a change in the thickness of sediments of the Middle Eocene. The thickness of oil shale layers vary in intervals of up to 10 meters in arches of the anticline, synclinal and mould structures (Boyuk Siyaki, Kichik Siyaki, Jangichay, Jangidagh, etc.) [1; 9]. The layers, containing oil shale in sediments of the Upper Maikopian are associated with shale lithofacies of the "Riki horizon". The sediments of the Middle Miocene (Konkian) are characterized by light gray, brown-gray shale and carbonate rocks. In the northwest and southwest of Gobustan, these lithofacies alternate with layers of oil shale of various thicknesses. The layers of oil shale were also registered in the sections of the Upper Sarmatian sediments [6; 10].

The geological and tectonic positions of the region are very complex, and two microblocks (Bayanata and Toragay) were established here that bound to the Goradil-Masazir underthrust zone and Gujur-Gyzyldash thrust [11].

Absheron region – 18 outcrops of oil shale were registered in the region [41]. In the geological structure of the region, the terrigenous and carbonate rocks of the Upper Cretaceous and Cenozoic deposits are noted [11]. Oil shale in the sections of the Eocene was registered only in the areas of Goytepe and Govundag [6]. The sediments containing oil shale in the region are associated mainly with the Upper Maikopian series and Upper Miocene [2; 5; 9]. The alternation of layers of black bituminous oil shale is registered on the northern slope of the mountains Uchtepe-Shorchala, as well as in the outcrops of the mountains Goytepe, Orjandagh and Fatmai. In the terrigenous and carbonate sediments of the Middle Miocene, the shale-bearing layers with a thickness of 30 m were observed within the Western Absheron in the Shorbulag and Garaheybat areas. The outcrops of laminated oil shale were recorded in Uchtepe-Ilkhidagh area, within the southern pericline of the Kecalagh-Zigilpiri fold and further east of the village of Binagadi. The outcrops of oil shale were recorded in the Meotian sections that are characterized by a different thickness



in the region. Due to tectonic and orographic settings, the region is a bottom of the south-eastern part of the Greater Caucasus. Most of the tectonic zones are gradually deepening in the direction of the expansion of the Greater Caucasus – from the north-west to the south-east, and complicated with mud

volcanoes (Keyreki, Lokbatan, Bozdagh-Qobu, etc.) [11]. The samples of oil shale were taken from the outcrops of Jangichay and Boyuk Siyaki of the central part of Shamakhi-Gobustan region, as well as from ejecta of mud volcanoes in the studied regions (Fig. 1).

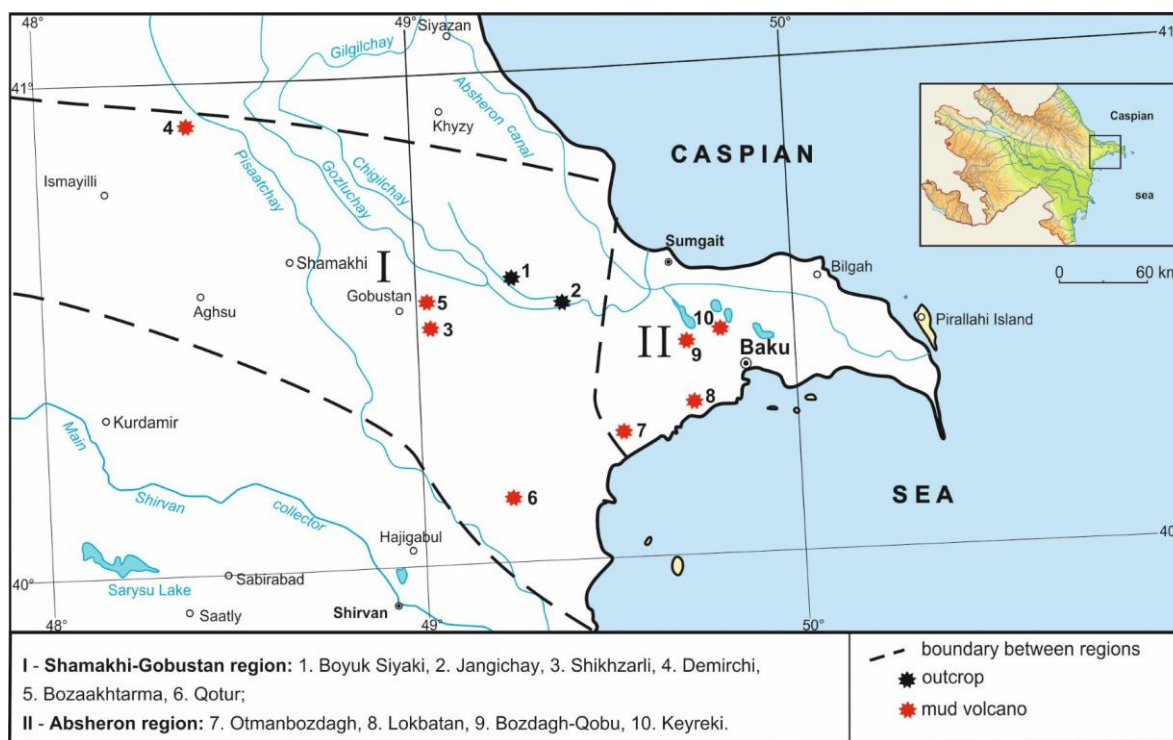


Fig. 1. Location map of the studied oil shale from outcrops and mud volcanoes

The accuracy of the age of oil shale from the outcrops is beyond doubt. Thus, the geological structure of the studied areas has been studied accurately. The geological age of oil shale found in the ejecta of mud volcanoes was determined according to the genus and species of fauna contained in the rocks assemblages. The *Globigerina bulloides* (Orbigny), *Cibicides sp.*, *Globigerina triloculoides* (Plummer), etc. planktonic and benthic foraminifera belonged to Eocene were determined in the studied rocks.

**Materials and methods.** Samples – two samples from the outcrops (1 – Boyuk Siyaki, 2 – Jangichay) and eight samples from ejecta of mud volcanoes (3 – Shikhzarli, 4 – Demirchi, 5 – Bozaakhtarma, 6 – Qotur, 7 – Otmanbozdagh, 8 – Lokbatan, 9 – Bozdagh-Qobu, 10 – Keyreki) were taken. The samples are black, gray and brown in color with a laminated structure.

Chemical composition of rocks – analysis of major element oxides were performed on the “S8 TIGER Series 2 WDXRF” spectrometer and trace elements on the “Agilent 7700 Series ICP-MS” mass spectrometer at the Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences.

Mineralogical composition of rocks – studied using the XRD “MiniFlex 600” at the same Institute.

Age of rocks – the microscopes “Loupe Zoom Paralux XTL 745” and “MBC-10” and a digital camera “OptixCam” were used. The study was carried out at the Integrated Engineering Exploration Production, Department of Geophysics and Geology, SOCAR.

**Methodology.** The published literature was used to obtain information about average shale [47], average black shale [49], North American shale composite [25], post-Archean Australian Shale [46] as well as oil shale from the Green River Formation of USA [45], Gurun basin and Hatildag deposit of Turkey [38; 44], Sultani deposit of Jordan [8], Baltic deposit of Russia [28] and Estonia deposit of Estonia [15] for comparative studies based on the distribution of major oxides and trace elements. A diagram and index proposed by [27] and [24] were used for the classification and determination of maturity of samples. The palaeoweathering characteristics were studied based on two indexes – Index of Compositional Variability [18] and Chemical Index of Alteration [35], and also plots proposed by [18; 31; 35; 43].

**Results and discussions.** Mineralogy – 11 minerals belonging to 5 classes: mainly carbonates, sulphates and silicates were found in the samples.

Only one sample contains 1% of halite (halogen class), and hematite was found in three samples (Table 1).

Table 1

		Mineralogical composition of samples (%)										
Region	Area (sample)	Quartz	Feldspar	Calcite	Illite	Montmorillonite	Chlorite	Jarozit	Halite	Siderite	Hematite	Gypsum
Shamakhi-Gobustan	Boyuk Siyaki (1)	26.7	10.0	2.0	9.0	10.0	15.0	1.5	-	25.8	-	-
	Jengichay (2)	28.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	15.0	-	-	-	-
	Shikhzarli (3)	23.0	7.0	-	15.0	15.0	20.0	20.0	-	-	-	-
	Demirchi (4)	28.0	13.0	4.0	15.0	15.0	18.0	4.0	-	-	3.0	-
	Bozaakhtarma (5)	27.0	5.0	-	7.0	26.0	10.0	22.0	-	3.0	-	-
	Qotur (6)	23.0	5.0	12.0	10.0	12.0	16.0	16.0	1.0	-	-	5.0
Absheron	Otmanbozdagh (7)	20.0	15.0	9.0	12.0	17.0	17.0	7.0	-	-	-	-
	Lokbatan (8)	23.0	5.0	14.0	10.0	16.0	15.0	17.0	-	-	-	-
	Bozdagh-Qobu (9)	35.0	8.0	3.0	11.0	12.0	16.0	12.0	-	-	3.0	-
	Keyreki (10)	24.0	8.0	18.0	10.0	15.0	15.0	4.0	-	-	6.0	-
	Mean	<b>25.8</b>	<b>8.2</b>	<b>7.0</b>	<b>10.9</b>	<b>15.1</b>	<b>16.2</b>	<b>11.8</b>	<b>0.1</b>	<b>2.9</b>	<b>1.2</b>	<b>0.5</b>

The analyze of mineral assemblages in the shale samples showed the presence of clay minerals – illite, chlorite and montmorillonite. The value of montmorillonite (mean = 15.1 %) and chlorite (mean = 16.2 %) higher than illite (mean = 10.9 %) (Table 1).

Illite is widely distributed in clay and shale associated with the marine origin as a result of weathering of feldspar and muscovite. In the process of converting muscovite to illite, some part of  $K^{+1}$  is replaced by  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  and  $H_3O^{+}$  [7]. On the other hand, in a process of metamorphism of clay, its crystallization provides an indicator between diagenesis and low-temperature metamorphism [23].

Chlorites are formed in a result of physical and chemical change in the minerals of a mafic type such as pyroxene, amphibole, biotite, talc, and pyrophyllite. In coastal areas, where the degree of metamorphism is low, iron-enriched chlorite is formed. This type of chlorite is more unstable. At low temperatures, chlorite converts to montmorillonite, while and at high temperatures to talc, cordierite and garnet [7].

Montmorillonite belonging to the group of smectite forms as a result of hydrothermal changes or weathering of aluminum-rich minerals, in particular, bentonites – volcanic ash and tuff. Formation of this mineral often occurs together with other clay minerals, including illite. In the process of formation, the role of weathering and transformation of aluminosilicate rocks, especially, feldspar as well as rivers and streams are not excluded [29]. This mineral is an authigenic, and its origin related

to an accumulation of shale and a change in detrital materials in a relatively calm condition.

The mean value of quartz in samples is 25.77%, feldspar – 8.2 % (Table 1). Quartz is a wide-spread accessory mineral associated with siliceous eruptions, such as volcanic rhyolite and plutonic granite [33]. Taking part in all degrees of metamorphism, and having a high resistance to chemical weathering, this mineral is widely distributed in sedimentary rocks including metamorphosed oil shale.

Anorthite (Fig. 2a and 2c) and albite (Fig. 2b and 2d) are present in the studied samples. Anorthite is the calcium-rich endmember of the plagioclase solid solution series, the other endmember being albite (the sodium endmember). Albite twinning is characteristic for plagioclase associated with igneous rocks, such as basalt, andesite, dacite, rhyolite, etc. Along with the metamorphic rocks, they are found in the composition of detrital sedimentary rocks. At shallow depths, close to the Earth's surface, they are relatively less stable in comparison with alkaline feldspar (orthoclase, anorthoclase, etc.) and quartz, and decompose to clay mineral during weathering [33]. Quartz and feldspar are associated with coastal zones [29]. During diagenesis, various processes occur in sediments, such as activation of silicate source for quartz cementation, as well as a replacement of quartz and feldspar with calcite or clay transformation [26; 42].

The mineral calcite (carbonate class) was found in eight rock samples (mean = 7.0 %) and siderite in only two samples (mean = 2.9 %) (Table 1). The ma-

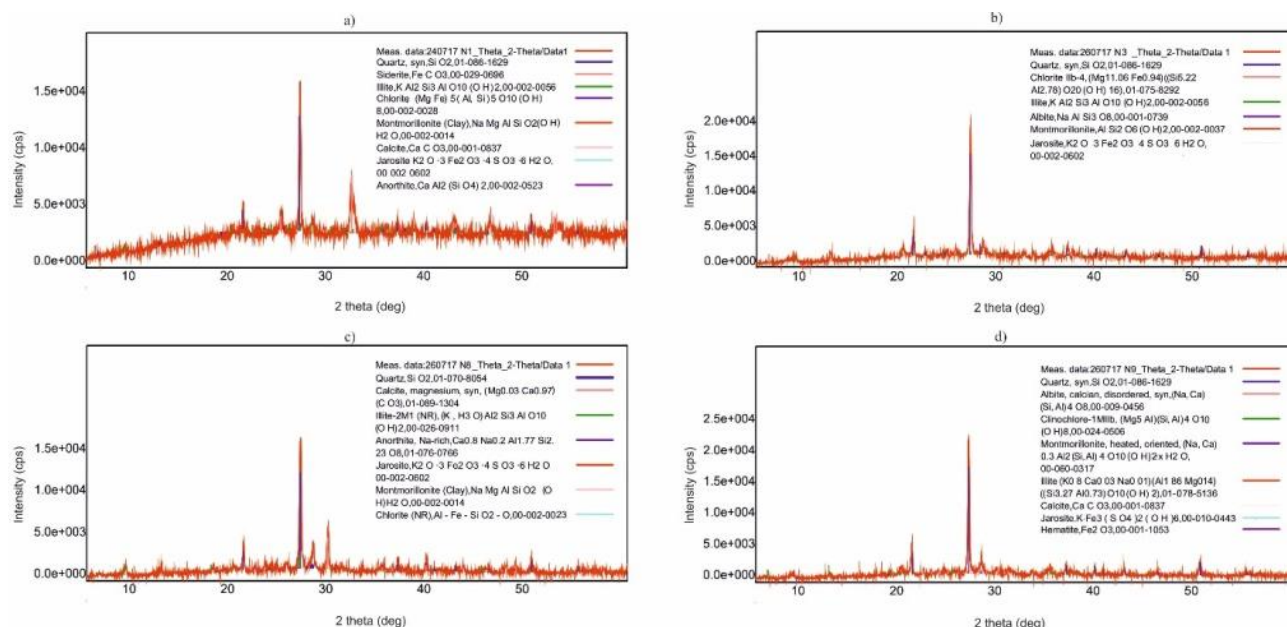


Fig. 2. XRD images of oil shale samples: a – Kichik Siyaki (1), b – Shikhzarli (3), c – Lokbatan (8), d – Bozdag-Qobu (9)

in components of carbonate minerals are limestone and dolomite. The main element structure center of the carbonate minerals consists of an equilateral triangle in which a  $C^{+4}$  ion is located, and oxygen ions in its hills. Each  $Ca^{+2}$  ion is surrounded by six oxygen ions. The carbonate minerals, found as a result of analytical studies, belong to the calcite group. Calcite is the most common carbonate mineral, mainly consist of limestones that their fine-grained powder as a cementing agent plays a key role in the formation of sedimentary rocks, oil shale and skeletal structures of living organisms. This group of mineral is associated with rare products of magmatic eruptions called carbonatites. They form as a veinlet associated with sulphide ores after precipitation from hydrothermal fluids. Unlike calcite, aragonite forms as a result of high pressure and temperature related to depths close to the surface. According to this feature, the presence of the aragonite mineral in metamorphic oil shale can be considered as an indicator of metamorphism, reflecting a condition of low temperature and high pressure. In terms of temperature, a relatively hot paleosource is characterized by aragonite, and cold by calcite [33]. The common genesis of calcite mineral identified in the samples is bound to cold sources. Another calcium-containing mineral is diagenetic siderite, often presents in the composition of oil shale and sandstone. Forming in shallow water and taking part in the formation of concretion, this mineral gives a reason to take this factor into account during the study of the genesis of oil shale.

A widespread mineral of sulphate class in the content of samples is jarosite, with an average value of 11.85%. In addition, 5% of gypsum was found in

sample No. 6. Jarosite is an alunite group mineral, which is the main potassium and iron hydrosulfite. The mineral is considered as a secondary mineral associated with the oxidized part of sulphide-containing rocks. The genetic feature of this mineral related to a weathering occurring in an arid climate. This mineral often forms due to weathering of iron sulphide. Gypsum is an aqueous sulfate of calcium. As a less dense mineral, genetically forms in a lake, sea and geothermal water as well as also in a veinlet that is rich in sulphate precipitation.

Unlike magnetite, hematite is more prone to oxidation and can be considered a changing product of magnetite. In many igneous rocks, hematite is a solid solution in the composition of ilmenite. Larger sediments of hematite are found in strip-like iron formations. The mineral origin is associated with geothermal waters, as well as with stagnant water environments at the bottom of the lakes, sometimes anhydrous conditions and volcanic activity [33].

**Major oxides.** The  $SiO_2$  value in the samples ranges from 45.72 to 55.55 % (mean = 49.81 %). The values of this major oxide in the samples taken from the Boyuk Siyaki and Jangichay outcrops differ from oil shale sampled from ejecta of mud volcanoes in Shamakhi-Gobustan region. A tendency on decreasing of the value for this oxide was recorded towards the south-east from North Gobustan. In addition to Si, the second major oxide in the chemical composition of samples is Al. It is nearly impossible to give statistical distributions for this element on the studied areas and regions. The  $Al_2O_3$  values in the samples range from 12.69 to 16.81 % (mean = 14.64 %). Compared to the Eocene samples, the  $Fe_2O_3$  value is significantly higher (13.54 %) in

sample No. 1 of the Upper Miocene. The  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  values are significantly lower (4.92-8.54 %) in the other nine samples.

The mean value of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  is 6.84 %. Other major oxides, such as  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.97-1.76 %, mean = 1.34 %),  $\text{MgO}$  (2.25-3.20 %, mean = 2.65 %),  $\text{P}_2\text{O}_5$

(0.03-0.39 %, mean = 0,17%),  $\text{SO}_3$  (0.35-7.37 %, mean = 2.93 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (2.06 to 3.89 %, mean = 3.36 %),  $\text{CaO}$  (0.29-9.67 %, mean = 3.97 %),  $\text{TiO}_2$  (0.61-0.90 %, mean = 0.76 %),  $\text{MnO}$  (0.02-0.18 %, mean = 0.09 %) were determined for all samples (Table 2).

Table 2

Region Area Sample	Shamakhi-Gobustan						Absheron				Mean
	Boyuk Siyaki	Jəngichay	Shikhzarli	Demirchi	Bozaa- khtarma	Qotur	Otman- bozdagh	Lokbatan	Bozdagh- Qobu	Keyraki	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Major oxide (%)											
$\text{SiO}_2$	46.04	49.55	53.39	55.55	51.23	46.43	49.71	46.07	54.39	45.72	<b>49.81</b>
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.36	15.36	16.06	16.81	14.93	12.69	15.10	12.96	15.27	13.82	<b>14.64</b>
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	13.54	4.92	7.29	5.53	8.54	4.97	5.63	5.42	5.46	7.12	<b>6.84</b>
FeO	12.18	4.43	6.56	4.98	7.68	4.47	5.07	4.88	4.91	6.41	<b>6.16</b>
CaO	1.37	5.22	0.37	2.09	0.29	2.97	7.32	8.47	1.97	9.67	<b>3.97</b>
$\text{Na}_2\text{O}$	1.15	1.38	1.34	1.00	0.97	1.76	1.50	1.63	1.42	1.23	<b>1.34</b>
$\text{K}_2\text{O}$	2.06	3.84	3.65	3.61	3.61	2.93	3.47	3.38	3.89	3.15	<b>3.36</b>
MgO	2.67	3.20	2.49	2.25	2.58	2.76	2.56	2.81	2.89	2.34	<b>2.65</b>
$\text{TiO}_2$	0.74	0.75	0.76	0.87	0.71	0.61	0.83	0.66	0.80	0.90	<b>0.76</b>
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.39	0.04	0.03	0.26	0.03	0.25	0.21	0.25	0.17	0.08	<b>0.17</b>
$\text{SO}_3$	0.45	3.06	3.90	1.26	7.37	4.69	1.69	3.30	3.20	0.35	<b>2.93</b>
MnO	0.18	0.07	0.09	0.02	0.02	0.05	0.13	0.07	0.07	0.17	<b>0.09</b>
Trace element (ppm)											
Ba	235	405	426	555	384	412	241	516	142	434	<b>375</b>
Zr	116	196	215	142	184	214	117	419	317	154	<b>207.4</b>
Br	8	12	5	1	5	72	5	5	8	3	<b>12.4</b>
Mo	80	77	64	48	126	5	19	16	34	12	<b>48.1</b>
Sr	116	325	214	317	134	294	295	426	1000	426	<b>354.7</b>
Cu	49	11	11	83	94	88	19	89	12	15	<b>47.1</b>
Cr	87	112	141	84	96	214	216	212	134	142	<b>143.8</b>
Rb	53	218	191	94	175	184	710	114	41	81	<b>186.1</b>
Zn	83	71	86	112	85	84	77	100	541	114	135.3
Ni	74	16	102	31	75	34	41	176	60	74	68.3
Se	0.4	0.1	0.6	0.3	11.6	0.7	0.3	0.5	0.1	0.4	1.5
As	5	3	5	8	2	7	23	3	9	7	7.2
Ga	17	8	15	11	7	12	14	5	8	12	10.9
V	31	104	246	241	964	41	24	61	61	71	184.4
U	3	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1.5
Pb	7	34	12	19	19	18	9	18	11	21	16.8

The major oxides in the composition of samples were compared with average shale [47], NASC [25] and average black shale [49]. The  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  values corresponds to the average shale, while the  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  value proper to NASC and the CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO,  $\text{TiO}_2$ . The  $\text{P}_2\text{O}_5$  values coincide with both shales. Only for the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  value and alkaline compounds were established a correspondence compared with the average black shale (Table 3).

The major oxides in the samples were compared with the cognominal rocks of some countries that have extensive experience in the oil shale industry. The studied oil shale demonstrates similarity with the oil shale of the Estonian kukersite deposit [15] and Green River Formation of USA [45]. A associative similarity was recoded in the concentration of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and CaO. The studied samples prevail on the oil shale of the Gurun basin of Turkey

[38], Baltic basin of Russia [28] and Sultani deposit of Jordan [8] on the mean  $\text{SiO}_2$  value. Referred to the CaO content, these three countries have a significant advantage (Table 4). High concentrations of CaO characterize a relationship with biochemical source, including cementing in the center of the basin [52]. The CaO value is significantly higher in the samples taken from the mud volcanic areas in Absheron region (excluding Bozdagh-Qobu) than in Shamakhi-Gobustan region (excluding Jangichay) (Table 2). This factor may be related to a depositional environment, in which the samples formed; instabilities at the level of lake, lagoon, etc., as well as intensity of transport of dissolved chemical components.

**Trace elements.** The mean Zr value in oil shale is 207 ppm, and there is a coincidence for this trace element compared to NASC [25] and PAAS [46]

Table 3

Comparison of chemical composition of the studied shales with published averages

	Present study	NASC [25]	Average shales [47]	Average black shales [49]	Post-Archean Australian Shale [46]
Major element oxide (%)					
<b>SiO<sub>2</sub></b>	45.81	64.82	58.50	-	62.80
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.64	17.05	15.00	13.00	18.90
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6.84	5.70	4.72	3.00	7.08
<b>CaO</b>	3.97	3.51	3.10	2.10	1.30
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.34	1.13	1.30	0.90	1.20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3.36	3.97	3.10	2.40	3.70
<b>MgO</b>	2.65	2.83	2.50	1.20	2.20
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.76	0.80	0.77	0.33	1.00
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.17	0.15	0.16	-	0.16
<b>MnO</b>	0.09	-	-	0.02	0.11
Trace element (ppm)					
<b>Sr</b>	354.7	142	300	200	200
<b>Ba</b>	375	636	580	300	650
<b>V</b>	184.4	130	130	150	150
<b>Ni</b>	68.3	58	68	50	55
<b>Cr</b>	143.8	125	90	100	110
<b>Zn</b>	135.3	-	95	300	85
<b>Cu</b>	47.1	-	45	70	50
<b>Zr</b>	207.4	200	160	-	210

Table 4

Comparison of the major oxides of the studied samples and oil shale of some countries with published averages (%)

	Present study	Gurun Basin (Turkey) [38]	Baltic basin (Russia) [28]	Sultani deposit (Jordan) [8]	Estonia deposit (Estonia) [15]	Green River formation (USA) [45]
<b>SiO<sub>2</sub></b>	49.80	16.13	33.22	26.26	59.80	53.71
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.64	4.67	7.69	2.87	16.10	13.53
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6.84	3.18	4.26	1.12	2.80	5.40
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.76	0.24	1.32	0.13	0.70	0.58
<b>MgO</b>	2.65	7.27	0.98	0.95	0.40	6.08
<b>CaO</b>	3.97	29.42	39.95	26.3	0.70	5.47
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.33	1.58	-	0.27	0.80	2.37
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3.36	2.10	7.18	1.37	6.30	1.26
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.17	0.16	0.47	3.48	-	0.20
<b>MnO</b>	0.09	0.01	0.11	-	-	0.05

(Table 3). This indication differs sharply from some of the world's oil shale deposits and basins, including the Hatildag deposit of Turkey (14 ppm) [44] and Sultani deposit in Jordan (46 ppm) [8]. The mean Sr and Ni values for the oil shale are 355 and 68 ppm (Table 3). Relatively, the Sr content in average shale is 300 ppm [47], which roughly corresponds to oil shale in the present study (Table 3). However, the values of the same trace element in the NASC [25], average black shale [49] and PAAS [46] considerably less (142, 200 and 200 ppm) (Table 3). The mean Sr value is 430 ppm in the Hatildag oil shale deposit [44], Sultani – 707 ppm [8].

High Sr value in sedimentary rocks is associated with nano-calcareous planktons [32] and also aragonite sources. The mean Ni value is distributed in approximate concentrations in the noted shales (Table 3). However, the content of this trace element in the oil shale of the Hatildag deposit is 103 ppm [44], Sultani – 139 ppm [8], Baltic basin – 10 ppm [30], Kukersit of Estonia – 17 ppm [48] and Green River – 1-10 ppm [17]. The origin of Ni in the studied oil shale is most likely associated with organic sources. The Zn and Cu values in oil shale are 135 and 47 ppm (Table 3). The Zn value is relatively high in the average shale and in PAAS (95 and 85 ppm) (Table

3). The mean Zn value for average black shale is 300 ppm. The average Zn value in the oil shale deposit in Turkey is 15 ppm [44], Sultani – 649 ppm [8], Baltic basin – 75 ppm [30], Kukersit deposit – 49 ppm [48] and Green River formation – 10 ppm [17]. The mean value of Cu does not differ much from the average shale and PAAS (45 and 50 ppm). In black average shale, the value of this trace element is slightly greater, 70 ppm (Table 3). The average Cu value of the Hatildag deposit is 38 ppm [44], Sultani – 115 ppm [8] and Baltic basin – 10 ppm [30].

### Geochemical classifications and maturity.

Based on the chemical classification diagram of  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  versus  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  [27], it was determined that most of samples correspond to shale, and only one sample with a rich  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content correlate with Fe-shale (Table 2, Fig. 3). Shale is clastic sedimentary rock consisted of clay minerals, as well as quartz and calcite. The biological, chemical and coastal-mechanical erosions, as well as the shelf, lagoon, deep but relatively stagnant water environments, are characteristic for its genesis.

A ratio  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  differs sharply in clay min-

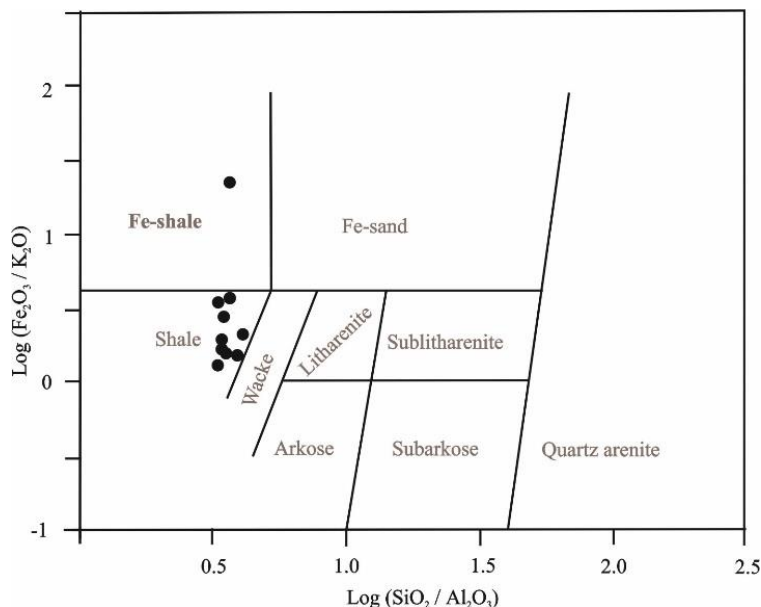


Fig. 3.  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  versus  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  classification diagram [27] for the selected oil shale samples

erals and feldspar. The ratio value forms an idea of the original composition of sedimentary rocks.  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio was established for clay minerals 0-0.3 %, but for feldspar 0.3-0.9 %.  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 0.5$  indicates the content of alkaline feldspar associated with other minerals. The ratio varies from 0.15 to 0.26 for the studied oil shale (mean = 0.23). This result indicates the absolute superiority of clay minerals over K-containing minerals, including K-feldspar and micas.

Higher  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  values indicate a bond with plagioclase. Relatively low values characterize change in extracellular cations of clay minerals. This feature provides an association between sodium and illite. The determined ratio for samples varies from 0.27 to 0.60 (mean = 0.41), corresponds to a low degree of maturity. A result of the correlation between  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is negative ( $r = -0.37$ ), which can be explained by the fact that sodium does not bind to plagioclase in the samples, and the main bond is associated with illite. The  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ratio is 1.66-3.72 (mean = 2.56), which is characteristic for K-bearing minerals.

$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  ratio indicates the mobility of major oxides that form rocks [24]. The oxides present in the content of samples are unstable since the determined values of this ratio are lower (0.80-2.05).

The ratios of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  are very informative as an indicator of mineralogical stability in sedimentary rocks. Lower  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and higher  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  values are considered mineralogically less stable and more prone to reactivity under supercritical  $\text{CO}_2$  exposure [20; 39]. The ratio of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  is lower than that of  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ , and this result leads to the fact that the studied samples are classified as mineralogically unstable.

A ratio of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  is used to determine the maturity properties of sedimentary rocks, as well as to assess the presence of quartz associated with clay minerals or feldspar [16; 19]. In this regard, high ratios characterize mineralogical mature (quartzose, rounded) and while low ratios represent chemically immature rocks [40]. Since the sizes of fine-grained rocks have a positive effect on maturity, but rocks, mainly consist of clay minerals, have a negative im-



pact on this feature. Thus, maturity can be recorded in rocks, which rich with quartz, fine-grained sands, and feldspar. If the  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio is characterized by high values, up to 5, it indicates progressive maturity for quartz and feldspar. The value of this ratio for present study range from 3.22 to 3.66, the mean value is 3.4. Such values point to the superiority of clay minerals in the studied rocks. The  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  values for the composition of samples shows a tendency like  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2$  (Table 2). The obtained result corresponds to clay minerals [37]. A positive result of the correlation between  $\text{TiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r = 0.57$ ) also confirms this conclusion.

Unstable and recrystallization features of clay minerals lead to acute mineralogical changes during diagenesis and low-temperature metamorphism [50]. Isochemical features for such processes is characteristic. Index of Compositional Variability (ICV), which indicates a richness of alumina relative to the cations of some major oxides in rocks, is determined by the formula  $[\text{ICV} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2)/\text{Al}_2\text{O}_3 (\%)]$  [18]. The index also allows detecting detrital mineralogical properties of rocks. The calculated ICV value for samples is 0.91-1.78 (mean = 1.32). Since rocks characterized by low ICV values are associated with the cratonic environments and clay minerals. Most of the samples have a higher value than 1, indicating the presence of fewer clay minerals and more rock-forming minerals, such as plagioclase, alkali-feldspar, etc.

**Palaeoweathering.** Intensity of chemical weathering is directly related to a number of factors, such as the composition of the parent rock, climatic condition, the duration of weathering, the degree of uplift tectonic movement, etc. The chemical weathering has a certain effect on the composition of silicate rocks. This is characterized by more stable properties of large cations (Ba, Rb, etc.) compared to small ones (Na, Ca, etc.) in weathered residues [34]. During weathering, an element with a smaller ionic radius is separated from feldspar and the abundance of such an element compared to a stable element in the content of rocks indicates the degree of chemical weathering. A comparison of arid and humid conditions indicates that arid is characterized by relatively poor chemical weathering. A climatic condition accompanied by heavy rainfall leads to the loss of unstable minerals. In addition,  $\text{CO}_2$  in the atmosphere and temperature condition has a positive effect on the intensity of weathering. Thus, the high temperature increases the decomposition of plagioclase and potassium feldspars, as well as hydrolysis. The lack of plants, the intensification of temperature and rainfall can lead to strong weathering.

Some methods are used for the determination of weathering based on the abundance of mobile or immobile major oxides in the rock. Chemical Index of Alteration ((CIA), [35]) is an index indicates of the conversion of plagioclase and potassium feldspar into clay minerals. The computational formula of the coefficient is:  $\text{CIA} = 100 \times [\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$ . A value of  $\text{CaO}^*$  indicates only CaO in silicates. Since this value is different from CaO, the following formula  $[\text{CaO}^* = \text{CaO} - \text{calcite} - \text{dolomite} - \text{apatite}]$  was used for the index calculation. The calculation of the index was performed within the molar proportions of the oxides. For the studied rocks, the CIA values are between 72 and 80 (the mean value is 75), which indicate moderate to high degree of weathering. CIA versus Al/Na plot for the samples is almost identical to the PAAS (Fig. 4). Such a trend characterizes  $\text{N}^+$  diagenetic loss.

According to the ICV-CIA plot, the samples were subjected to intensive weathering in the source area and only after the post-sedimentation processes; there were changes in their composition (Fig. 5). Up to 50 CIA values indicate unchanged plagioclase, as well as K-feldspar. The minimum values of CIA for all samples  $> 70$ . Since CIA values approach 100 indicate the conversion of feldspar to clay minerals, such as gibbsite, kaolinite [21]. The CIA values and silicate clay minerals in the shale samples (Table 1) also confirm moderate to high degree of weathering. The obtained values may be related either of the original sources or during transport before deposition and may reflect low-relief and arid climatic state in the source area [51].

The results of the ternary diagram of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  (A-CN-K) [36] was used to determine the chemical weathering properties, show that all the samples plot parallel to the A-CN join. The normal weathering tendency is focused toward illite, but in general, the effect of K-metasomatism is not excluded. The obtained result supports a conclusion that the protolith of oil shales coincides with mafic and intermediate types of igneous rocks (Fig. 6).

The plot based on the amount of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{K}_2\text{O}$  of samples indicates a relationship with illite (Fig. 7). Such a conclusion is most likely based on the conversion of K-feldspar and muscovite into clay minerals as a result of weathering in arid/semiarid climatic conditions. In addition, the relationship between potassium and illite is confirmed by the result of correlation  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r = 0.65$ ).

**Conclusions.** 11 minerals belonging to 5 classes were determined in the samples which silicates predominate.

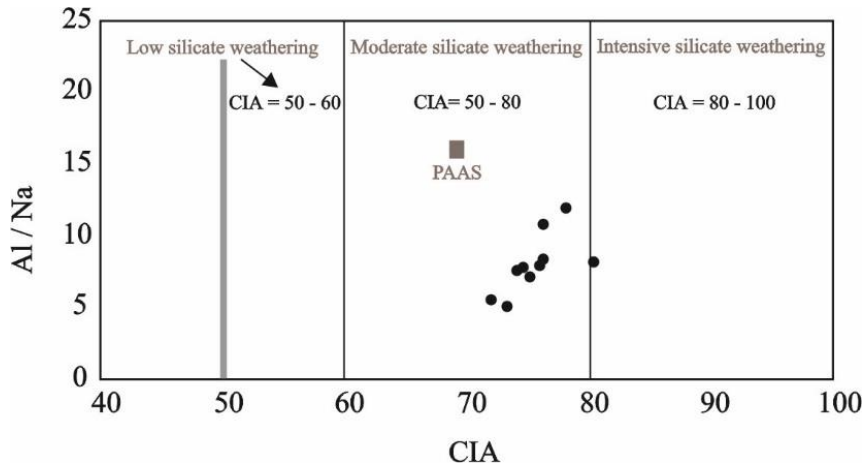


Fig. 4. Scatter plot of CIA versus Al / Na ratio [43] for the studied samples. PAAS range from [46]

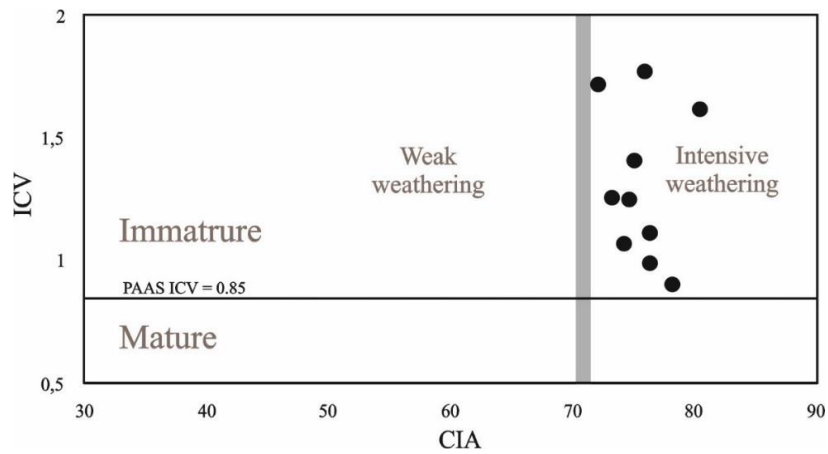


Fig. 5. CIA-ICV plot [31] for the samples. PAAS range from [46]

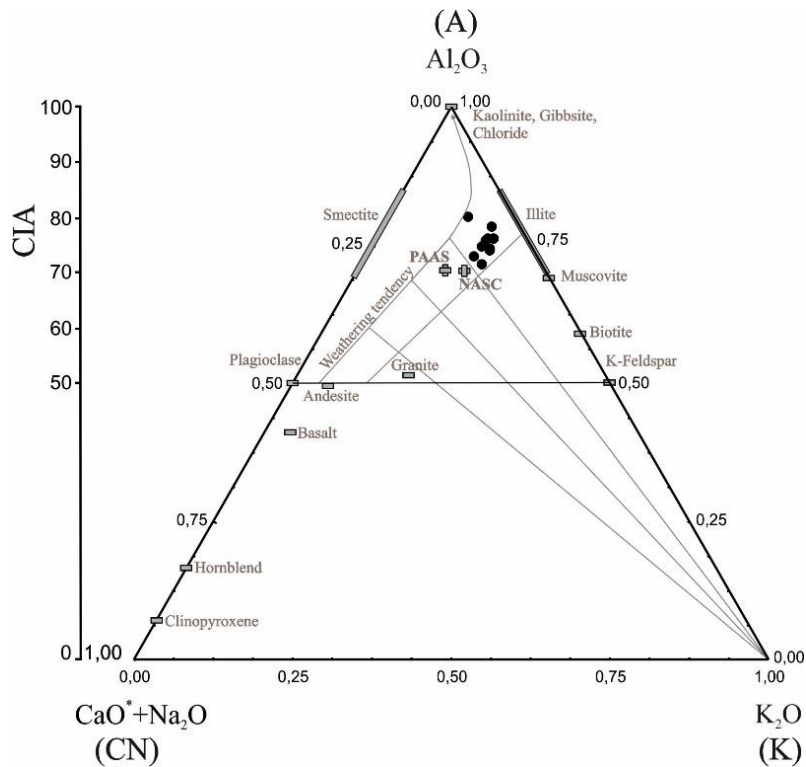


Fig. 6. A-CN-K ternary diagram [36] of molecular proportions of  $Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O$  for the oil shale samples. PAAS range from [46] and NASC [25]



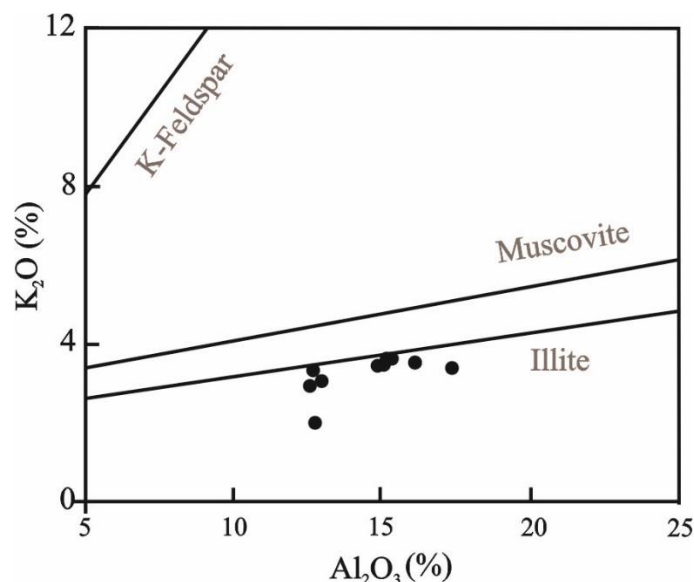


Fig. 7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus K<sub>2</sub>O plot [18] of oil shale samples

The coincidence between samples and shale was established using the classification plot based on  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  versus  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ .

The K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio confirms a superiority of clay minerals in the composition of oil shale compared to K-minerals, including K-feldspar. The estimates based on the  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratios confirm the instability of oxides and minerals in the composition of samples. In addition, the ratios of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2$  support an idea that the samples are immature and associated with clay minerals.

The values of the CIA, and the plots for CIA versus ICV, CIA versus Al/Na ratio and the ternary diagram A–CN–K, as well as the study related to major oxide confirm moderate to high degree of weathering. The result of A–CN–K ternary diagram support that the weathering tendency of the samples plots close to the illite. The effect of K-metasomatism in this process is also not excluded. The role of post-sedimentation processes were most likely involved in the conversion. The protolith of oil shale samples is associated with mafic and intermediate igneous sources.

#### References

1. Abbasov, O. R. Distribution regularities of shales of Paleogene-Miocene sediments in Gobustan : abstract of PhD thesis ... on PhD in Earth Sciences : 26.11.09 / O. R. Abbasov [Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences] – Baku, 2009. – 24 p.
2. Abbasov, O. R. Some new data of geochemical researches of combustible slates of Azerbaijan / O. R. Abbasov, A. N. Mamedova [et al.] // *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. – 2013. – Is. 2, – P. 32–35.
3. Abbasov, Orhan. Oil shale of Azerbaijan: geology, geochemistry and probable reserves / Orhan Abbasov // *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*. – 2015. – Vol. 2, Is. 9. – P. 31–37.
4. Abbasov, Orhan. Organic compounds in ejected rocks of mud volcanoes as geological and geochemical indicators of source rock: a study of oil shale in Shamakhi-Gobustan region (Azerbaijan) / Orhan Abbasov // *International Journal of Current Advanced Research*, – 2016. – Vol. 5, Is. 7. – P. 1042–1046.
5. Abbasov, O. R. Distribution regularities of oil shale in Azerbaijan / O. R. Abbasov // *ISJ Theoretical & Applied Science*. – 2016. – Vol. 35, Is. 3. – P. 165–171. <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.03.35.28>.
6. Abbasov, O. R. Distribution regularities and geochemistry of oil shales in Azerbaijan / O. R. Abbasov // *Mineral resources of Ukraine*. – 2017. – Is. 2. – P. 22–30.
7. Aghayev, Aghamehdi. *Geochemistry of sedimentation processes* / Aghamehdi Agayev – Baku : Publishing house "Adiloghlu", 2006. – 136 p.
8. Alali, Jamal. *Oil Shale in Jordan* / Jamal Alali, Abu Salah, Abdelfattah, Yasin Suha M., Al Omari Wasfi – Natural Resources Authority of Jordan, – 2015. – 26 p.
9. Aliyev, Ad. A. Oil shales of Miocene in Azerbaijan / Ad. A. Aliyev, I. S. Belov, G. A. Aliyev // *Azerbaijan Oil Industry*. – 2000. – Is. 5. – P. 7–11.
10. Aliyev, Ad. A. Oil shale of Paleogene-Miocene in Azerbaijan / Ad. A. Aliyev, I. S. Belov, T. A. Bayramov // *Geologist of Azerbaijan. Scientific Bulletin*. – 2003, – Is. 8. – P. 68–80.
11. Atlas of mud volcanoes in the world : Ad. A. Aliyev, I. S. Guliyev, F. G. Dadashev, R. R. Rahmanov. – Baku : Publishing house "Nafta-Press", "Sandro Teti Editore", 2015. – 361 p.

12. Aliyev, Ad. A. Organic-geochemical study of oil shales in Pre-Caspian-Guba region (Azerbaijan) / Ad. A. Aliyev, O. R. Abbasov [et al.] // *Mineral resources of Ukraine*. – 2018. – Is. 3. – P. 13–18. <https://doi.org/10.31996/mru.2018.3.13-18>.
13. Organic geochemical characteristics of oil shale in Azerbaijan [Aliyev, Adil, Abbasov, Orhan] : The 36<sup>th</sup> National and the 3<sup>rd</sup> International Geosciences Congress, February 25-27, 2018. – Tehran : 2018. – P. 1–10.
14. Aliyev, Ad. A. Genesis and organic geochemical characteristics of oil shale in Eastern Azerbaijan / Ad. A. Aliyev, O. R. Abbasov [et al.] // *SOCAR Proceedings*. – 2018. – Is. 3. – P. 4–15. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180300356>.
15. Arro, H. Calculation of composition of Estonian oil shale and its combustion products on the basis of heating value / H. Arro, A. Prikk, T. Pihu // *Oil Shale*, – 1998. – Vol. 15, Is. 4. – P. 329–340.
16. Cingolani, C. A. Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block: Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina / C. A. Cingolani, M. Manassero, P. Abre // *Journal of South American Earth Sciences*. – 2003. – Vol. 16, Is. 1. – P. 91–106. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00021-X).
17. Connie L. Wilkerson. Trace metal composition of Green River retorted shale oil / Wilkerson Connie L. // *Fuel*. – 1982. – Vol. 61, Is. 1. – P. 63–70. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(82\)90294-0](https://doi.org/10.1016/0016-2361(82)90294-0).
18. Cox, R. The influence of sediment recycling and basement composition of evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United States / R. Cox, D. R. Lowe, R. L. Cullers // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1995. – Is. 59. – P. 2919–2940. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9).
19. Cullers, R. L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies / R. L. Cullers // *Lithos*. – 2000. – Is. 51, – P. 181–203. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(99\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(99)00063-8).
20. Farquhar, S. M. A fresh approach to investigating CO<sub>2</sub> storage: experimental CO<sub>2</sub>-water-rock interactions in a low-salinity reservoir system / S. M. Farquhar, J. K. Pearce [et al.] // *Chemical Geology*, – 2014. – P. 1–70. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.10.00>.
21. Fedo, C. M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for weathering conditions and provenance / C. M. Fedo, H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Geology*. – 1995. – Is. 23. – P. 921–924. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2)
22. *Geology of Azerbaijan* / Ad. A. Aliyev, Ch. S. Aliyev, A. A. Feyzullayev, et al. ; editor Academician Ak. A. Ali-zadeh. – II Volume. – Baku : Publishing house “Elm”, 2015. – 341 p.
23. Gharrabi, M., The transformation of illite to muscovite in pelitic rocks: Constraints from X-ray diffraction / M. Gharrabi, B. Velde, J. -P. Sagon // *Clays and Clay Minerals*. – 1998. – Is. 46. – P. 79–88.
24. Gill, S. Implications of a lower Pennsylvanian Ultisol for equatorial Pangean climates and early, oligotrophic, forest ecosystems / S. Gill, K. Yemane // *Geology*, – 1996. – Vol. 24, Is. 10. – P. 905–908. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0905:IOALPU>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0905:IOALPU>2.3.CO;2).
25. Gromet, L. P. The “North American shale composite” its compilation, major, and trace elements characteristics / L. P. Gromet, R. F. Dymek [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – Is. 48, – P. 2469–2482. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90298-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9).
26. Hawkins, P. J. Relationship between diagenesis, porosity reduction and oil replacement in Late Carboniferous sandstone reservoirs, Bothamsall oil field, E. Midlands / P. J. Hawkins // *Jour. Geol. Soc. London*. – 1978. – Is. 135. – P. 7–24. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.135.1.0007>.
27. Herron, M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core and log data / M. M. Herron // *Journal of Sedimentary Petrology*. – 1988. – Is. 58. – P. 820–829.
28. Kondrasheva, N. K. Assessment of the possibility of using oil shale and shale-ash waste in industry / N. K. Kondrasheva // *Notes of the Mining Institute*. – 2016. – Is. 220. – P. 595–600.
29. Kortenski, J. Trace and major elements content and distribution in Neogene lignite from the Sofia Basin, Bulgaria / J. Kortenski, A. Sotirov // *International Journal of Coal Geology*. – 2002. – Is. 52. – P. 63–82.
30. Kler, V. R. Metallogeny and geochemistry of coal bearing and shale bearing strata of the USSR: regularities of elements concentration and study methods / V. R. Kler, G. A. Volkova [et al.] – Moscow : Nauka, 1988. – 256 p.
31. Long, X. Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: Evidence for a northward-derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogeny / X. Long, C. Yuan, [et al.] // *Gondwana Research*, – 2012. – Is. 22. – P. 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.04.009>.
32. Martin, J. H. The Elemental Composition of Plankton / J. H. Martin, G. A. Knauer // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1973. – Is. 37. – P. 1639–1653. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90154-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90154-3).
33. Nelson, Stephen A. Tectosilicates, carbonates, oxides, & accessory minerals / Stephen A. Nelson. – New Orleans : Tulane University, 2004. – 15 p.
34. Nesbitt, H. W. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering / H. W. Nesbitt, G. Markovics, R. C. Price // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1980. – Is. 44. – P. 1659–1666. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90218-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90218-5).
35. Nesbitt, H. W. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of Lutites / H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Nature*. – 1982. – Is. 299. – P. 715–717.

36. Nesbitt, H. W. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations / H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – Is. 48. – P. 1523–1534. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90408-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3).
37. Obasi, R. A. Use of geochemistry to study the provenance, tectonic setting, source-area weathering and maturity of Igarra Marble, Southwest, Nigeria / R. A. Obasi, H. Y. Madukwe // *American Journal of Engineering Research*. – 2016. – Vol. 5, Is. 6, – P. 90–99.
38. Onal M. Stratigraphic, mineralogic and geochemical characterization of Gurun oil shales, central Anatolia, Turkey / M. Onal, T. Ayyildiz [et al.] // *Oil Shale*, – 2006. – Vol. 23, Is. 4. – P. 297–312.
39. Pettijohn, F. J. : Sand and Sandstone / F. J. Pettijohn, P. E. Potter, R. Siever ; – Berlin : Springer, 1987. – 213 p.
40. Potter, P. E. Petrology and chemistry of modern big river sands / Potter, P. E. // *The Journal of Geology*. – 1978. – Vol. 86, Is. 4. – P. 423–449.
41. Reserves of oil shale and natural bitumen : Map (Scale 1:1000000) / Ad. A. Aliyev, A. A. Bayramov, O. R. Abbasov, A. N. Mammadova . – Baku : National Atlas of the Republic of Azerbaijan , 2014 . – P. 101.
42. Rodrigo, D. L. The role of depositional setting and diagenesis on the reservoir quality of Devonian sandstones from the Solimones Basin, Brazilian Amazonia / D. L. Rodrigo, F. D. R. Luiz // *Marine and Petroleum Geology*. – 2002. – Is. 19. – P. 1047–1071.
43. Servaraj, K. Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks / K. Servaraj, C. C. Arthur // *Journal of Geology*. – 2006. – Is. 114. – P. 101–116.
44. Shener, M. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of oil shale bearing deposits in the Hatildag oil shale field, Goynuk, Turkey / M. Shener, I. Shenguler // *Fuel*. – 1998. – Is. 8. – P. 871–880.
45. Tank, R. W. Clay minerals of the Green River Formation (Eocene) of Wyoming / R. W. Tank // *Clay Minerals*. – 1972. – Is. 9. – P. 297–308.
46. Taylor, S. R. The continental crust: its composition and evolution / S. R. Taylor, S. M. McLennan. – Oxford: Blackwell, 1985. – 312 p. <https://doi.org/10.1002/gj.3350210116>.
47. Turekian, K. K. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust / K. K. Turekian, K. H. Wedepohl // *Geological Society of America, Bulletin*. – 1961. – Is. 72. – P. 175–192.
48. Urov, K. Characteristics of oil shales and shale-like rocks of known deposits and outcrops / K. Urov, A. Sumberg // *Oil shale*. – 1999. – Vol. 16, Is. 3. – P. 1–64.
49. Vine, J. D. Geochemistry of black shale deposits / J. D. Vine, E. B. Tourtelot // *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. – 1970. – Is. 65. – P. 253–272. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.65.3.253>.
50. Weaver, C. E. Clay water diagenesis during burial: how mud becomes gneiss / C. E. Weaver, K. C. Beck, C. O. Pollard // *Special Papers – Geological Society of America*. – 1971. – Is. 134. – P. 1–78.
51. Zaid, Samir Mahmoud. Provenance, diagenesis, tectonic setting, and geochemistry of Hawkesbury Sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia / Samir Mahmoud Zaid, Fahad AL Gahtani // *Turkish Journal of Earth Sciences*. – 2015. – Is. 24. – P. 72–98. <https://doi.org/10.3906/yer-1407-5>.
52. Zaid, Samir Mahmoud. Geochemistry of shales from the Upper Miocene Samh Formation, north Marsa Alam, Red Sea, Egypt: implications for source area weathering, provenance, and tectonic setting / Samir Mahmoud Zaid // *Arabian Journal of Geosciences*, – 2016. – Vol. 9, Is. 12. – P. 1–15.

\* This work was supported by the Science Development Foundation under the President of the Republic of Azerbaijan – Grant № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/32/2

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

UDC 622.337.2:553.98.061.17

**Adil A. Aliyev,**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor,  
Head of Department of Mud Volcanism, Institute of Geology and Geophysics,  
Azerbaijan National of Academy Sciences, H. Javid ave., 119, Baku, AZ1143, Azerbaijan,  
e-mail: [ad\\_aliyev@mail.ru](mailto:ad_aliyev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7731-9525>;

**Orhan R. Abbasov,**

PhD (Earth Sciences), Associate Professor, Senior Researcher of Department of Mud Volcanism,  
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National of Academy Sciences,  
H. Javid ave., 119, Baku, AZ1143, Azerbaijan,  
e-mail: [ortal80@bk.ru](mailto:ortal80@bk.ru), <http://orcid.org/0000-0003-2135-7984>;

**Agamehdi M. Agayev,**

PhD (Chemical Sciences), Associate Professor of Faculty of Geological Exploration,  
Azerbaijan State Oil and Industry University, Azadlig ave., 20, AZ1010, Baku, Azerbaijan,  
e-mail: [agamehti.agaev@gmail.com](mailto:agamehti.agaev@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1195-1971>

## **MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF OIL SHALES IN AZERBAIJAN: CLASSIFICATIONS, PALAEOWEATHERING AND MATURITY FEATURES**

Shamakhi-Gobustan and Absheron regions (Azerbaijan) are a part of the South Caspian Basin, which is a subsiding basin located between the colliding of Arabian and Eurasian plates. The intensive rate of sedimentation process creates a favorable condition for the formation of oil shale, hydrocarbon and as well as mud volcanoes in these regions.

**The purpose of the article.** The study of oil shale in Azerbaijan has been mainly devoted to their geological and organic-geochemical characteristics, etc. However, the chemical classifications, provenience, palaeoweathering and maturity characteristics have not been studied. This study is the first attempt to investigate noted issues.

**The research methodology.** 10 samples from the outcrops and eject of mud volcanoes were analyzed. The concentrations of major and trace elements and minerals were measured by “S8 TIGER Series 2 WDXRF”, “Agilent 7700 Series ICP-MS” mass spectrometers and XRD “MiniFlex 600”. The microscopes “Loupe Zoom Paralux XTL 745” and “MC-10” and a digital camera “OptixCam” were used to determine the age of the samples.

The major and trace elements in the composition of samples were compared with average shale, NASC, PAAS and average black shale as well as oil shale from the Green River Formation of USA, Kukersit of Estonia, etc. studied in the published literature. A diagram and index were used for the classifications and determination of maturity of rocks. The palaeoweathering characteristic was determined based on CIA versus ICV and some other plots and ratios.

**Research results.** The minerals found in oil shale were classified according to their classes. According to the used classification diagram, it was established that all studied samples correspond to shale. A superiority of clay minerals in the composition of oil shale compared to K-minerals, including K-feldspar was found.

The estimates based on geochemistry and some ratios of elements confirm the instability of oxides and minerals, and immaturity of the samples.

The values of the CIA, CIA versus ICV plot, etc. confirm moderate to high degree of weathering. The results confirm a conclusion that the original sediments were derived from mafic and intermediate source terrain.

**The scientific novelty.** The scientific analysis presented in the paper is based on several substantial theoretical conclusions, which related to the factual material of research conducted by the co-authors.

The mineralogy, classification features, stability characteristics of the major oxides and minerals as well as chemical maturity and palaeoweathering were studied based on the chemical composition of the samples.

**The practical significance.** The results of the current study can be used for the further utilization of oil shale in Azerbaijan and the selection of promising areas in terms of mineral raw materials.

**Keywords:** oil shale, geochemistry, mineral, classification, maturity, weathering.

### **References**

1. Abbasov, O. R. (2009). *Distribution regularities of shales of Paleogene-Miocene sediments in Gobustan : abstract of PhD thesis ... on PhD in Earth Sciences : 26.11.09. Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, 24.*

2. Abbasov O.R., Mamedova A.N., Huseynov A.R., Baloglanov E.E. (2013). Some new data on geochemical researches of combustible slates of Azerbaijan. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2, 32–35.
3. Abbasov Orhan. (2015). Oil shale of Azerbaijan: geology, geochemistry and probable reserves. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 2 (9), 31–37.
4. Abbasov Orhan. (2016). Organic compounds in ejected rocks of mud volcanoes as geological and geochemical indicators of source rock: a study of oil shale in Shamakhi-Gobustan region (Azerbaijan). *International Journal of Current Advanced Research*, 5 (7), 1042–1046.
5. Abbasov O.R. (2016). Distribution regularities of oil shale in Azerbaijan. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 3 (35), 165–171. <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.03.35.28>
6. Abbasov O.R. (2017). Distribution regularities and geochemistry of oil shales in Azerbaijan. *Mineral resources of Ukraine*, 2, 22–30.
7. Aghayev Aghamehdi. (2006). *Geochemistry of sedimentation processes*. Baku: Publishing house "Adiloghlu", 136 p.
8. Alali Jamal, Abu Salah Abdelfattah, Yasin Suha M., Al Omari Wasfi. (2015). Oil Shale in Jordan. *Natural Resources Authority of Jordan*, 26 p.
9. Aliyev Ad.A., Belov I.S., Aliyev G.A. (2000). Oil shales of Miocene in Azerbaijan. *Azerbaijan Oil Industry*, 5, 7–11.
10. Aliyev Ad.A., Belov I.S., Bayramov T.A. (2003). Oil shale of Paleogene-Miocene in Azerbaijan. *Geologist of Azerbaijan. Scientific Bulletin*, 8, 68–80.
11. Aliyev Ad.A., Guliyev I.S., Dadashev F.G., Rahmanov R.R. (2015). *Atlas of mud volcanoes in the world*. Baku: Publishing house "Nafta-Press", "Sandro Teti Editore", 361 p.
12. Aliyev A.A., Abbasov O.R., Ibadzade A.J., Mammadova A.N. (2018). Organic-geochemical study of oil shales in Pre-Caspian-Guba region (Azerbaijan). *Mineral resources of Ukraine*, 3, 13-18. <https://doi.org/10.31996/mru.2018.3.13-18>.
13. Aliyev Adil, Abbasov Orhan. (2018). Organic geochemical characteristics of oil shale in Azerbaijan. *The 36<sup>th</sup> National and the 3<sup>rd</sup> International Geosciences Congress. Tehran, Iran, February 25-27*, p. 1–10.
14. Aliyev Ad.A., Abbasov O.R., Ibadzade A.J., Mammadova A.N. (2018). Genesis and organic geochemical characteristics of oil shale in Eastern Azerbaijan. *SOCAR Proceedings*, 2018, 3, p. 4-15. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180300356>.
15. Arro H., Prikk A., Pihu T. (1998). Calculation of composition of Estonian oil shale and its combustion products on the basis of heating value. *Oil Shale*, 15 (4), 329–340.
16. Cingolani C.A., Manassero M., Abre P. (2003). Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block: Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16 (1), 91–106. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00021-X).
17. Connie L. Wilkerson. (1982). Trace metal composition of Green River retorted shale oil. *Fuel*, 61 (1), 63–70. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(82\)90294-0](https://doi.org/10.1016/0016-2361(82)90294-0).
18. Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. (1995). The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 2919–2940. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9).
19. Cullers R.L. (2000). The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51, 181–203. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(99\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(99)00063-8).
20. Farquhar S.M., Pearce J.K., Dawson G.K.W., Golab A., Sommacal S., Kirste D., Biddle D., Golding S.D. (2014). A fresh approach to investigating CO<sub>2</sub> storage: experimental CO<sub>2</sub>-water-rock interactions in a low-salinity reservoir system. *Chemical Geology*, 1–70. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.10.00>.
21. Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for weathering conditions and provenance. *Geology*, 23, 921–924. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2)
22. Aliyev Ad.A., Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., et al. (2015). *Geology of Azerbaijan, II Volume*. Baku: Publishing house "Elm", 341.
23. Gharrabi M., Velde B., Sagon J.-P. (1998). The transformation of illite to muscovite in pelitic rocks: Constraints from X-ray diffraction. *Clays and Clay Minerals*, 46, 79–88.
24. Gill S., Yemane K. (1996). Implications of a lower Pennsylvanian Ultisol for equatorial Pangean climates and early, oligotrophic, forest ecosystems. *Geology*, 24 (10), 905–908. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0905:IOALPU>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0905:IOALPU>2.3.CO;2).
25. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. (1984). The "North American shale composite" its compilation, major, and trace elements characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 2469–2482. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90298-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9).
26. Hawkins P.J. (1978). Relationship between diagenesis, porosity reduction and oil replacement in Late Carboniferous sandstone reservoirs, Bothamsall oil field, E. Midlands. *Jour. Geol. Soc. London*, 135, 7–24. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.135.1.0007>.
27. Herron M.M. (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core and log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 820–829.

28. Kondrasheva N.K. (2016). Assessment of the possibility of using oil shale and shale-ash waste in industry. *Notes of the Mining Institute*, 220, 595–600.
29. Kortenski J., Sotirov A. (2002). Trace and major elements content and distribution in Neogene lignite from the Sofia Basin, Bulgaria. *International Journal of Coal Geology*, 52, 63–82.
30. Kler V.R., Volkova G.A., Gurvich E.M. et al. (1988). *Metallogeny and geochemistry of coal bearing and shale bearing strata of the USSR: regularities of elements concentration and study methods*. Moscow: Nauka, 256 p.
31. Long X., Yuan C., Sun M., Xiao W., Wang Y., Cai K., Jiang Y. (2012). Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: Evidence for a northward-derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogen. *Gondwana Research*, 22, 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.04.009>.
32. Martin J.H., Knauer G.A. (1973). The Elemental Composition of Plankton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1639–1653. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90154-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90154-3).
33. Nelson Stephen A. (2014). Tectosilicates, carbonates, oxides, & accessory minerals. *Mineralogy*, 15 p.
34. Nesbitt H.W., Markovics G., Price R.C. (1980). Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1659–1666. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90218-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90218-5).
35. Nesbitt H.W., Young G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of Lutites. *Nature*, 299, 715–717.
36. Nesbitt H.W., Young G.M. (1984). Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523–1534. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90408-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3).
37. Obasi R.A., Madukwe H.Y. (2016). Use of geochemistry to study the provenance, tectonic setting, source-area weathering and maturity of Igarra Marble, Southwest, Nigeria. *American Journal of Engineering Research*, 5 (6), 90–99.
38. Onal M., Ayyildiz T., Onal Y., Akmil-Bashar C. (2006). Stratigraphic, mineralogic and geochemical characterization of Gürün oil shales, central Anatolia, Turkey. *Oil Shale*, 23 (4), 297–312.
39. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. (1987). *Sand and Sandstone*. Springer, 213.
40. Potter P.E. (1978). Petrology and chemistry of modern big river sands. *The Journal of Geology*, 86 (4), 423–449.
41. Aliyev Ad.A., Bayramov A.A., Abbasov O.R., Mammadova A.N. (2014). Reserves of oil shale and natural bitumen. *National Atlas of the Republic of Azerbaijan, Map (Scale 1:1000000)*, 101.
42. Rodrigo D.L., Luiz F.D.R. (2002). The role of depositional setting and diagenesis on the reservoir quality of Devonian sandstones from the Solimões Basin, Brazilian Amazonia. *Marine and Petroleum Geology*, 19, 1047–1071.
43. Servaraj K., Arthur C.C. (2006). Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks. *Journal of Geology*, 114, 101–116.
44. Shener M., Shenguler I. (1998). Geological, mineralogical and geochemical characteristics of oil shale bearing deposits in the Hatildag oil shale field, Göynük, Turkey. *Fuel*, 8, 871–880.
45. Tank R.W. (1972). Clay minerals of the Green River Formation (Eocene) of Wyoming. *Clay Minerals*, 9, 297–308.
46. Taylor S.R., McLennan S.M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford: Blackwell, 312 p. <https://doi.org/10.1002/gj.3350210116>.
47. Turekian K.K., Wedepohl K.H. (1961). Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin*, 72, 175–192.
48. Urov K., Sumberg A. (1999). Characteristics of oil shales and shale-like rocks of known deposits and outcrops. *Oil shale*, 16 (3), 1–64.
49. Vine J.D., Tourtelot E.B. (1970). Geochemistry of black shale deposits. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 65, 253–272. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.65.3.253>.
50. Weaver C.E., Beck K.C., Pollard C.O. (1971). Clay water diagenesis during burial: how mud becomes gneiss. *Special Papers - Geological Society of America*, 134, 1–78.
51. Samir Mahmoud Zaid, Fahad AL Gahtani. (2015). Provenance, diagenesis, tectonic setting, and geochemistry of Hawkesbury Sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 72–98. <https://doi.org/10.3906/yer-1407-5>.
52. Samir M. Zaid. (2016). Geochemistry of shales from the Upper Miocene Samh Formation, north Marsa Alam, Red Sea, Egypt: implications for source area weathering, provenance, and tectonic setting. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (12), 1–15.



УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Барташук,**

к. геол. н., ст. наук. співроб., зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту 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>;

**Василь Григорович Суярко,**

д. г-м. н., професор, кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [vgsuyarko@gmail.com](mailto:vgsuyarko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>

## ГОРИЗОНТАЛЬНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГЕОМАС У КОНТИНЕНТАЛЬНИХ РИФТОГЕННИХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКОГО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТА). ЧАСТИНА 2. СТРУКТУРНІ ПАРАГЕНЕЗИ РЕЙДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ОСАДОВОГО ЧОХЛА

*Інверсійним етапам структурно-речовинної еволюції континентальної земної кори притаманний регіональний масштаб прояву деформації об'ємної тектонічної течії гірських порід платформних осадових комплексів, якою зумовлені значні горизонтально-зсувні переміщення тектонічно активізованих геомас у внутрішньо-плитних грабен-рифтових геоструктурах. Зсувна динамічна деформація геомас зазвичай проявляється на заключних етапах історії геологічного розвитку таких геоструктур, тому визначає головні риси системної організації сучасної архітектури як фундаменту, так і осадових комплексів чохла. Друга частина є трилогії продовжує регіональні геотектонічні дослідження пострифтових ускладнень структури осадового чохла Дніпровсько-Донецького палеорифта (ДДП), що охоплюють три головних етапи платформної тектонічної активізації. Пізньо-герцинська епоха характеризувалась формуванням крупних лінійних антиклинальних зон і солянокупольних валів на фоні загального синеклізного прогинання розташованого в межах палеорифту одноіменного осадового басейну-Дніпровсько-Донецької западини. Наступна, киммерійська епоха тектогенезу призвела до значних підкидо-насувних деформацій первинних структурних форм чохла у геодинамічній обстановці колізійного стискання, що супроводжувалось інтенсивним коробленням горизонтів осадового чохла. Структурним проявом горизонтально-зсувної тектоніки альпійської епохи в осадових комплексах є переважно горизонтальні переміщення геомас активізованих геоблоків, лінеаментів, локальних тектонічних елементів і структур вздовж динамічно сполучених кулісних доменів зсувів.*

*По результатах структурно-кінематичного аналізу рисунків систем розломів (СР) верхньо-візейського осадового комплексу встановлено, що під дією природних механізмів об'ємної тектонічної течії гірських порід, в осадовому чохлі відбувались горизонтальні переміщення геомас, якими зумовлено формування поздовжніх хвиль вторинних структурних деформацій. Вперше у структурі платформного чохла Дніпровського грабена ідентифіковано характерні структурні форми зсувної деформації - локальні структури, структурно-кінематичні парагенези, лінійні і площові зони концентрації зсувних дислокацій та утворенні ними субрегіональні структурні хвилі різної морфології, масштабу і кінематики, які є природними геологічними об'єктами, сформованими на інверсійних етапах історії геологічного розвитку палеорифта.*

**Ключові слова:** системи розломів, осадовий чохол, структура тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез, зона концентрації зсувних дислокацій.

**О. В. Барташук, В. Г. Суярко. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕОМАССИВОВ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТОГЕННЫХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА). ЧАСТЬ 2. СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА.** *Инверсионным этапам структурно-вещественной эволюции континентальной земной коры характерен региональный масштаб проявления деформации объемного тектонического течения горных пород платформенных осадочных комплексов, которой обусловлены значительные горизонтально-сдвиговые перемещения тектонически активизированных геомас во внутриплитных грабен-рифтовых геоструктурах. Сдвиговая динамическая деформация геомас обычно проявляется на заключительных этапах истории геологического развития таких геоструктур, поэтому определяет главные черты системной организации современной архитектуры как фундамента, так и осадочных комплексов чехла. Вторая часть трилоги продолжит региональные геотектонические исследования пострифтовых осложнений структуры осадочного чехла Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП), охватывающих три главных этапа платформенной тектонической активизации. Поздне-герцинская эпоха характеризовалась формированием крупных линейных антиклинальных зон и солянокупольных валов на фоне общего синеклизного прогибания расположенного в пределах палеорифта одноименного осадочного бассейна-Днепровско-Донецкой впадины. Следующая, киммерийская эпоха тектогенеза привела к значительным взбросо-надвиговым деформациям первичных структурных форм чехла в геодинамической обстановке коллизионного сжатия с интенсивным короблением горизонтов осадочного чехла. Структурным проявлением горизонтально-сдвиговой тектоники альпийской эпохи в осадочных комплексах являются преимущественно горизонтальные перемещения геомас активизированных геоблоков, линеаментов, локальных тектонических элементов и структур вдоль динамично объединенных кулисных доменов сдвигов.*

*По результатам структурно-кінематичного аналізу рисунків систем розломів (СР) верхньо-візейського осадового комплексу встановлено, що під дією природних механізмів об'ємного тектонічного течения горних порід, в осадових комплексах происходили горизонтальні переміщення геомас, котрими обусловлено формування продольних волн вторинних структурних деформацій. Вперше в структурі осадочних комплексів платформного чехла Днепровського грабена ідентифіковані типові структурні форми сдвигової деформації - локальні структури, структурно-кінематичні парагенези, лінійні і площадні зони концентрації сдвигових дислокацій і образованні ними субрегіональні структурні хвилі різної морфології, масштабу і кінематики, котрі є природними геологічними об'єктами, сформованими на інверсійних етапах історії геологічного розвитку палеорифта.*

**Ключевые слова:** системы разломов, осадочный чехол, структура тектонического течения, структурный парагенез, зона концентрации сдвиговых дислокаций.

**Вступ.** Дослідження структурних проявів пізньогерцинської та мезокайнозойської внутрішньо-плитної тектонічної активізації в архітектурі осадового чохла ДДП – це актуальне питання регіональної геотектоніки і геодинаміки, яке є предметом вивчення у статті і вирішення якого матиме велике теоретичне значення для створення нової концепції структурно-кінематичної еволюції земної кори палеорифту, а також практичну цінність для обґрунтуванні нових напрямків геолого-розвідувальних робіт на нафту і газ у ДДЗ.

Різноманітними морфологічними проявами різнорангових тектонічних структур з інтенсивно деформованою внутрішньою будовою і структурно-речовинною переробкою гірських порід є "зони сколювання" [1], "квіткові структури" [2], структури типу "дуплекс" [3], "структури зсувної течії" [4], "структури тектонічної течії" [5], "безкорінневі неотектонічні структури" [6], "зони концентрованої деформації" [7], "зони стрес-метаморфізму" [8], "деформаційно-метаморфічні зони лінеаментного типу" [9], "зони горизонтального зсуву" [10], "структури горизонтального зсуву" [11].

Усі наведені терміни окремо підкреслюють одну із характерних рис вторинних деформаційних структур, а саме: морфологію новоствореної будови, ступень інтенсивності стрес-метаморфічних перетворень, тип тектонічних дислокацій порід, або переважаючий механізм деформацій. Але, спільно вони відображають, вочевидь, єдиний природний об'єкт, що охоплює усі морфолого-генетичні типи деформаційних структур, включаючи особливості їхньої внутрішньої структури, геодинамічну складову механізму деформацій, тип структурно-речовинної переробки, структуро-формуєчу роль горизонтально-зсувних дислокацій, або об'ємної тектонічної течії гірських порід.

З огляду на це, у даній роботі вперше пропонується вживати для таких специфічних геологічних об'єктів найбільш влучний термін "*структура тектонічної течії*" (СТТ), запропонований Є. І. Паталахою (1979) для вторинних деформаційних структур гірсько-складчастих областей. Крім того, пропонується виділяти територіально і динамічно сполучені ансамблі СТТ під терміном "*структурний парагенез реїдної деформації*" (ПРД), а територіальні ділянки концентрації ПРД виділяти під терміном "*зона реїдних дислокацій*" (ЗРД).

Головною діагностичною ознакою СТТ, що вперше виділяються при регіональних геотектонічних дослідженнях структурних пострифтових ускладнень осадового платформного чохла ДДП, визначено значно підвищену, у порівнянні з фо-

новою, інтенсивність структурно-речовинної переробки консолідованих гірських порід, які у зонах стрес-метаморфізму, під дією природних механізмів об'ємної тектонічної течії набувають властивостей до горизонтальних переміщень з утворенням вторинних деформаційних структурних форм. Тому діагностичним критерієм горизонтальних переміщень геомас у роботі обрано наявність СТТ різного масштабу, морфології та генезису, які відображаються у характерних структурних рисунках СР та ідентифікуються в аномаліях потенційних геофізичних полів, полі вертикальних неотектонічних рухів, а також у зонах лінеаментів і кільцевих аномаліях, виявлених за даними дешифрування матеріалів космозйомки.

У роботі, з використанням тектонофізичних методів аналізу, зроблено спробу довести, що виділені у структурному плані верхньовізейського осадового комплексу СТТ, є структурними проявами пізньогерцинської та мезокайнозойської внутрішньо-плитної тектонічної активізації в архітектурі осадового чохла ДДП.

**Аналіз попередніх досліджень.** Вторинна деформаційна лінійна складчастість, згідно (Паталаха Е., 1979; Алексеев В., 1990), розглядається як сукупність локальних зон зсувної течії, сформованих на кулісно розташованих в'язких розломах, що утворюють спільні тектонічні струмені. Структурний кістяк тектонічних струменів, як основу тектонічного дислокаційного процесу, складають зсуви з горизонтальною і ротаційною складовими переміщень. Горизонтальні зсуви домінують у структурі верхніх частин земної кори і є типовими диз'юнктивними елементами будови континентальних геоструктур, утвореними в геодинамічних обстановках трансенсії (грабени, рифти), транспресії (гірсько-складчасті рухливі пояси, зони внутрішньоплитної активізації), а також основними структурними елементами зсувної тектоніки осадових басейнів.

Наразі з'явилися нові фактичні дані і теоретичні напрацювання з динамічної геотектоніки [12-15], що дозволяють діагностувати механізми внутрішньої об'ємної тектонічної рухомості геомас, якими зумовлюються вторинні структурні дислокації. Згідно них, динамічна деформація охоплює усі форми тектонічної течії гірських порід та їх складні поєднання, тому динамічна геотектоніка включає в себе сукупність вторинних деформаційних структур і деформаційних процесів, що викликають горизонтальні переміщення геомас і генетично з нею пов'язані.

Об'єктом даних досліджень є *структурний парагенез* – "*сукупність структурних форм, утворених в спільній геодинамічній обстановці*"



(Гончаров М., Талицький В., Фролова Н., 2005). У природних умовах деформаційні структурні парагенези формуються, зазвичай, в геодинамічних обстановках інтерференції елементарних тектонічних напруг (стискання, розсування, зсування), причому переважають два комбінованих режими: 1- трансенсії, що утворюється при горизонтальному зсуві вздовж вертикальної площини в умовах горизонтального розтягу; 2- транспресії, як результат комбінації горизонтального зсування вздовж вертикальної площини і горизонтального стискання по нормалі до цієї площини.

Структурні парагенези цих двох головних природних геодинамічних обстановок, у тектонофізичному сенсі, представлені структурами типу "duplex" (Sylvester A. G., 1988). Для режиму трансенсії характерний "extensional duplex", або дуплекс розтягу, у тектонофізичному сенсі представлений динамічно сполученими ансамблями структурних дуг розтягання. Він складається доменами кулісно вишикуваних скидів, що утворюють структурні улоговини у рельєфі осадових комплексів, у тому числі типу "pull-apartbasin". Для обстановки транспресії типовим є дуплекс стискання-"contractional duplex". Його представляє спільний динамічний ансамбль структурних дуг стискання, складений доменами кулісних рядів підкидів, зрідка зворотних скидів, які утворюють структурні підняття рельєфу різного масштабу і морфології, як наведено на рис. 1 у нашій попередній статті (О. Барташук, В. Суярко, 2018).

В наших попередніх роботах [16-18] показано, що особливості вторинного деформаційного структуро-формування на інверсійних етапах тектонічного розвитку рифтогенних геоструктур визначаються, головним чином, особливостями геодинамічної еволюції напружено-деформаційного стану (НДС) континентальної земної кори. При цьому, НДС етапів платформної тектонічної активізації і загально-платформної колізії характеризується переважанням геодинамічного режиму транспресії, що встановлюється внаслідок загального тангенціального стискання у горизонтально-зсувному регіональному полі тектонічних напруг. Геодинамічною обстановкою транспресії був зумовлений регіональний масштаб прояву деформацій об'ємної тектонічної течії кристалічних порід фундаменту, що викликало значні горизонтальні переміщення активізованих геоблоків по лінійних зонах зсувного контролю. Це призвело до формування у поверхні докембрійського фундаменту структурних парагенезів і зон концентрованих деформацій зсування, стискання та розтягання. Тектонічну позицію і кінематику виділених у фундаменті СТТ різного масштабу

враховано в даній роботі для морфолого-генетичної діагностики і картування деформаційних структурних парагенезів і складених ними зон концентрованих диз'юнктивних і плікативних реїдних деформацій, що вперше виділяються як природні геологічні об'єкти в архітектурі верхньовізейського комплексу платформного осадового чохла палеорифту.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є дослідження структурних проявів об'ємної тектонічної рухомості активізованих геомас палеозойського осадового чохла на інверсійних етапах еволюції геоструктури ДДП. З цією метою у структурному плані верхньовізейського під'ярусу нижньокам'яновугільного літолого-стратиграфічного комплексу вивчались:

1. територіальне поширення, тектонічна позиція і морфолого-генетичні типи вторинних деформаційних СТТ зонального і субрегіонального масштабу (ПРД, ЗРД);

2. зіставлення виявлених деформаційних структур з кільцевими "дуготипними" аномаліями та "основними зонами лінеаментів", виділених згідно [19];

3. головні напрямки і кінематика горизонтальних переміщень тектонічно активізованих геомасивів осадового чохла;

4. аналіз відображення деформаційних СТТ у структурних неоднорідностях аномального магнітного і гравітаційного полів та поля вертикальних амплітуд новітніх (голоценових) тектонічних рухів.

**Матеріали та методи досліджень.** Методичний підхід проведення регіональних геотектонічних досліджень вторинного деформаційного структуроформування в геоструктурі ДДП полягав у комплексуванні структурно-парагенетичного методу і методу структурно-кінематичного аналізу структурних рисунків СР. Застосування цієї оригінальної методики при попередніх дослідженнях структурних ускладнень фундаменту дозволило вивчати деформаційне структуроутворення в умовах постріфтових геодинамічних режимів і виділяти притаманні їм СТТ в архітектурі докембрійського фундаменту [17,18]. Метою даних досліджень є виявлення різнорангових СТТ в архітектурі платформного осадового чохла, а саме у структурному плані верхньовізейських відкладів нижнього карбону.

Аналітичні картографічні матеріали складають "Карта розривних порушень і основних зон лінеаментів південного заходу СРСР (з використанням матеріалів космічної зйомки)" масштабу 1:1 000 000 (редактор М. Крилов, 1988), схема розломної тектоніки верхньовізейського комплексу (за матеріалами сейсмічної карти по відбиваючому горизонту  $V_{b2}$ , автор Я. Гузик, 2009),

карти локальних аномалій гравітаційного ( $\Delta G_a$ ) і магнітного ( $\Delta T_a$ ) полів (автори В. Шемет, В. Омельченко, 2006- 2008, 2009- 2017), а також карта вертикальних амплітуд неотектонічних (голоценових) рухів (автор А. Полівцев, 2007), усі матеріали масштабу 1:500 000.

**Результати досліджень.** На підставі теоретичної концепції структурних ускладнень рифтогенної будови палеорифту внаслідок регіонального прояву природних механізмів реїдної деформації осадових порід на етапах платформної активізації і загально- плитної колізії проводилось виявлення у верхньовізейському комплексі структурно-кінематичних парагенезів тектонічної течії та їх динамічно сполучених ансамблів, які складають субрегіональні зони реїдних дислокацій.

На першому етапі досліджень, із використанням структурно-кінематичних індикаторів (рис. 1 в [18]) і типових рисунків горизонтальних рухів (рис. 1), згідно (Буртман В., Лукьянов А., Пейве А., Руженцев С., 1963), на схемі розломної тектоніки проводився аналіз СР у поверхні верхньовізейського комплексу. Вивчались морфологія, кінематика і просторові взаємовідношення розривів, якими можуть бути зумовлені горизонтальні переміщення активізованих геомас осадових порід. На цих підставах у регіональному структурному плані ідентифікувались динамічно сполучені ансамблі СТТ, які у подальшому виділялись як окремі ПРД, проводилась їх генетична діагностика із наступним визначенням їх тектонічної позиції у складі субрегіональних ЗРД. Для остаточної ідентифікації СТТ було залучено "Карту..., 1988", лінеаменти і кільцеві "дуготипні" аномалії з якої зіставлялись із виділеними нами морфолого- генетичними типами ПРД та ЗРД.

Головним результатом першого етапу досліджень є встановлення регіонального масштабу поширення структурно-кінематичних індикаторів і характерних рисунків горизонтальних переміщень геомас. З точки зору тектонічної позиції, найбільшу їх концентрацію простежено в межах Дніпровського грабена, особливо на його південному і північному прибортових схилах над горстовими і ступінчастими уступами фундаменту і в шовних зонах південного і північного крайових розломів, меншу концентрацію встановлено на схилах структурних депресій осьової зони грабена (рис. 1).

Врахування природних кінематичних механізмів тектонічної деформації спільних ансамблів доменів зсувів та асоційованих з ними геоблоків, що пересуваються у горизонтальній площині, добре вивчених раніше у рухливих гірсько- складчастих поясах [20], дозволило встановити наступне. Деформація первинно-лінійних

тектонічних елементів і структур платформного чохла відбувалась у геодинамічній обстановці транспресії, яка призвела до колізійного короблення горизонтально- шаруватої осадової товщі. Вона супроводжувалась їх видовженням по простяганню геоструктури палеорифта в регіональному зсувному полі тектонічних напруг із утворенням характерних динамічно сполучених ансамблів СТТ трьох основних морфологічних типів- двох плікативних і одного диз'юнктивного.

1. Перший тип СТТ належить до плікативних дислокацій осадових горизонтів, сформованих за кінематичним механізмом поздовжнього видовження. У тектонофізичному сенсі вони представляють собою структурні "ороклини вигинання" (структурний тип деформацій згідно М. Коппа, 1991), або " дуплекси стискання", які складаються кулісними доменами структурних дуг стискання. У структурному плані верхньовізейського комплексу вони проявлені у вигляді дугоподібних структурних уступів-щаблів і терас, за якими південна прибортова частина Дніпровського грабена занурюється до осьової зони.

2. Другий тип плікативних структурних парагенезів представлений сполученими ансамблями структурних дуг розтягання, які в осадовому чохла вісьової і північної прибортової частин палеорифту формують окремі "дугоподібні структури розтягу" (структурний тип деформацій згідно М. Коппа, 2017) у вигляді ізометричних і овальних, зрідка дугоподібних структурних улоговин типу Pull-apart.

3. Третій, диз'юнктивний тип деформаційних парагенезів представлений лінійними зонами зсувного контролю, які є структурним відбиттям в осадовому чохла меридіональних і діагональних до простягання палеорифту лінеаментних зон концентрованих диз'юнктивних деформацій кристалічного фундаменту, сформованих у шовних зонах глибинних трансрегіональних розломів. В тектонофізичному сенсі вони складені динамічно сполученими ансамблями зон сколювання (структурний тип деформацій згідно С. Стоянова, 1977), які у рельєфі осадового чохла складають вузькі "трансформні" розломні зони, що характеризуються високою питомою щільністю горизонтальних зсувів.

За комплексом геолого-геофізичних ознак, головним структуро-утворюючим тектонічним елементом сучасної геоструктури ДДП визначено Михайлівсько-Охтирську зону лінійного горизонтально-зсувного контролю (рис. 2). Вона транзитом подовжується з Українського Щита у межі Дніпровського грабена, де виділяється вздовж шовної зони Дніпродзержинського розлому, трасу якого прийнято згідно "Карти розри-

вних порушень..., 1988". У полі вертикальних неотектонічних рухів Михайлівсько-Охтирська лінеамента зона впевнено відбивається вздовж чітко вираженої меридіональної смуги їх аномально підвищених амплітуд. Вперше в архітектурі докембрійського фундаменту і осадового платформного чохла палеорифту цей лінеамент ідентифіковано як структурно-кінематичну вісь симетрії, з позицій тектонофізики, або регіональну вісь тектонічного розтікання активізованих гео-

мас, у геодинамічному сенсі. Михайлівсько-Охтирська зона є також одним із тектонічних елементів, що визначають новітню поперечну сегментацію палеорифту, розділяючи його територію практично навпіл, на два мегаблоки – північно-західний і південно-східний, які характеризуються різними кінематичними типами структурних парагенезів та різними напрямками горизонтальних переміщень геомас осадового чохла в їх межах – північно-західної і південно-схід-



Рис. 1. Структурні рисунки, що виникають при горизонтальних переміщеннях, згідно В. Буртмана та ін. [5]; 1-3 – структурні парагенези: зсуву, стискання, розтягу



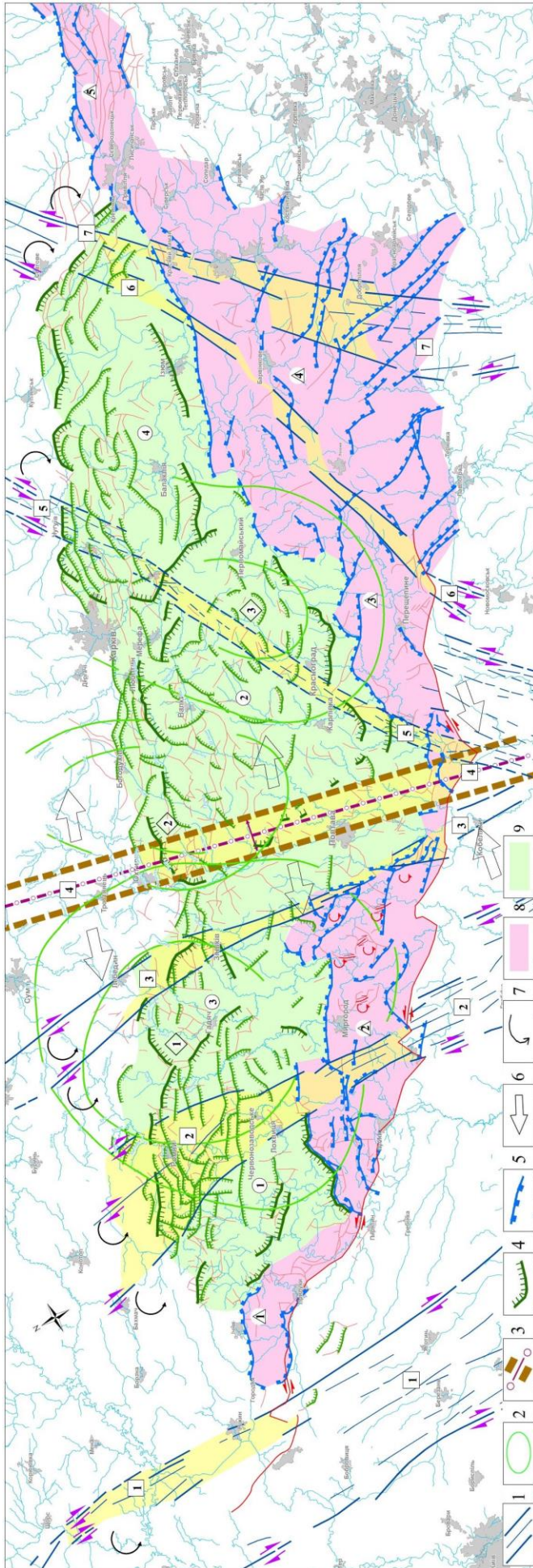


Рис. 2. Структурно-кінематична схема колізійного ускладнення осадового чохла (верхньовізейські відклади) Дніпровсько-Донецького палеорифту.

(Цифри в квадраті): 1 – Чернігівсько-Ніжинська; 2 – Глибоко-Конотопська; 3 – Кобеляцько-Лебединська; 4 – Михайлівсько-Охирська (віль розтікання); 5 – Карлівсько-Чугувівська; 6 – Лозівсько-Старобільська; 7 – Добропільсько-Сватівська.

(Цифри в колі): 1 – 4 структурні улоговини: 1 – Ічнянсько-Лохвицька; 2 – Миргород-Зінківська; 3 – Ворсклянська; 4 – Валківська; 5 – Красноградська; 6 – Балаклійсько-Савинська.

(Цифри в трикутнику): 1 – 5 структурні дуги стискання: 1 – Ічнянська; 2 – Лубенсько-Решетилівська; 3 – Царичанська; 4 – Лозівсько-Селідівська; 5 – Лисичансько-Луганська.

Умовні позначення: 1 – шовні зони глибинних розломів, 2 – кільцеві дуготипні аномалії, згідно матеріалів космічної зйомки [М. Крилов, 1988]; 3 – лінійні зони зсувного контролю; 4 – віль кінематичної симетрії; 5 – структурні дуги розтягу; 6 – структурні дуги стискання; 7 – напрямки переміщення геомас; 8 – напрямки витискання і обертання геоблоків; 9 – крайовий розлом; 10 – Кременівська структура; 11 – лінійний профіль.

ної вергентності, відповідно. У структурному плані верхньовізейського комплексу Михайлівсько-Охтирська ЗРД складається із структурного ансамблю територіально і динамічно сполучених лінзовидних улоговин загально- меридіонального простягання.

На другому етапі досліджень проводилось картування різнорангових СТТ. Вивчались особливості їх просторових співвідношень для визначення віку і тектонічної позиції у системній організації інверсійної архітектури осадового чохла. Для цього використовувались допоміжні карти локальних аномалій гравітаційного і магнітного полів, а також карта вертикальних амплітуд новітніх тектонічних рухів, на яких будувались кінематичні схеми горизонтальних переміщень геомас. Для детального картування і діагностики структурних парагенезів та лінійних зон реїдної деформації було обрано найбільш контрастну за інтенсивністю прояву і різноспрямованою кінематикою тектонічних рухів центральну частину Дніпровського грабена (рис. 3-5).

По результатах картування СТТ, за тектонічною позицією, кінематичним механізмом та особливостями геодинамічного режиму формування вперше виділяються три наступні структурно-кінематичні типи ЗРД.

1. Прирозломний тип охоплює плікативні ЗРД, що сформовані у зонах динамічного впливу активізованих на інверсійних етапах рифтогенних систем субширотних глибинних розломів. На етапі платформної пізньогерцинської активізації вони розвивались, ймовірно, як лінійні структурні зони з переважно вертикальною складовою тектонічних рухів, які в ході подальшої еволюції, на колізійному етапі були трансформовані у широкі кулісно побудовані структурні смуги плікативних дислокацій горизонтально-площинної тектонічної течії. Прирозломні зони складаються із спільних ансамблів структурних дуг стискання, які у структурі осадового чохла представлені кулісними рядами високоамплітудних флексурних уступів-шаблів, а також структурних валів, складеними локальними антиклінальними складками і розмежованими структурними улоговинами. До прирозломного типу СТТ належать Ічнянська, Лубенсько-Решетилівська, Царичанська, Лозівсько-Селидівська і Лисичансько-Луганська ЗРД, що вперше виділяються в структурі осадового чохла палеорифта (рис. 2).

Принципова будова і кінематика формування локальних деформаційних структур першого типу (дуплексів стискання) ілюстрована на прикладі Кременівської брахіантіклянальної складки. Вона є локальною структурою Михайлівсько-Голубівського структурного валу, розташованого

у шовній зоні південного крайового розлому. Кременівська складка-це вторинна (постседиментаційна) деформаційна структура горизонтально-зсувного механізму формування. У склепінні складки утворений типовий пізньоінверсійний грабен просідання над горстоподібним блоком докембрійського фундаменту (рис. 3, 4).

2. Надрозломний тип ЗРД охоплює лінеаментні зони зсувного контролю, що сформовані над шовними зонами транс регіональних-меридіональних і діагональних глибинних розломів фундаменту. До них належать, згідно "Карти розривних порушень...", 1988", Кіровоградська, Криворізько-Кременчуцька, Дніпродзержинська, Одеська, Оріхово-Павлоградська і Центрально-Приазовська зони розломів. На рифтовому етапі вони, ймовірно, розвивались як розломитрансформи із горизонтальною складовою переміщень, по яких розсувались плечі рифту. На етапах внутрішньо-плитної активізації вони були ремобілізовані як міжсегментні шовні зони сколювання, якими зумовлена постріфтова поперечна сегментація геоструктури ДДП. Надрозломний тип складають сім лінійних зон зсувного контролю, що вперше виділяються в архітектурі осадового чохла: Чернігівсько-Ніжинська, Глобино-Конотопська, Кобеляцько-Лебединська, Михайлівсько-Охтирська (вісь кінематичної симетрії), Полтавсько-Дергачівська, Карлівсько-Чугуївська, Лозівсько-Старобільська, Добропільсько-Сватівська ЗРД (рис. 2).

3. Міжрозломний тип охоплює такі плікативні ЗРД, що утворені за рахунок природного механізму помірного внутрішньо-плитного гравітаційно-тектонічного розтягнення (Копп М., 2017). Вони розташовуються в межах ділянок із переважанням напруг розтягання, у так званих "зонах геодинамічної тіні". Їх тектонічна позиція майже співпадає з позицією кільцевих і "дуготипних" структур, згідно "Карти розривних порушень...", які розміщуються в межах осьової і північної прибортової зони Дніпровського грабена, частково охоплюючи також південну прибортову зону. Характерною особливістю будови плікативних ЗРД, окрім складчастої внутрішньої структури, є кулісне розташування динамічно сполучених і паралельно вишикуваних доменів дуг розтягу, якими розмежовуються геоблоки, що пересуваються. Це свідчить про горизонтально-розсувну природу цих зон, тому їхній тектонічний стиль представлено типовими ансамблями структурних парагенезів горизонтально-площинного розтікання геомас.

Принципова будова і кінематика формування прирозломного дуплексу стискання (contractional duplex) у поперечному перетині (Часовий розріз 44-3888, СУГРС) з борту в гра-



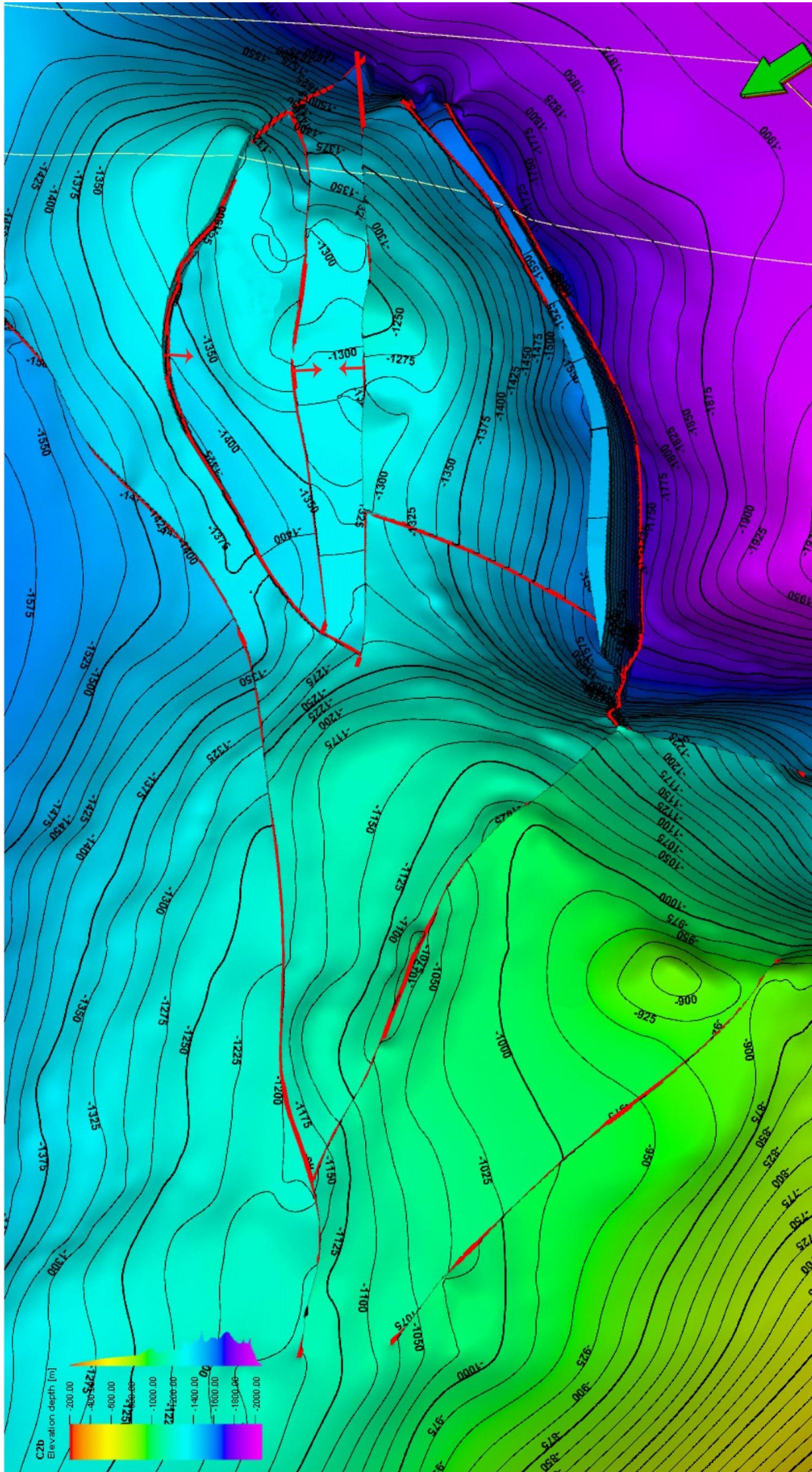


Рис. 3. Структури колізійного короблення осадового чохла південної прибортової зони Дніпровсько-Донецького палеорифту.  
1 – Кременівська і 2 – Мусієнківська брахіантиклінальні складки є прирозломними горизонтально-зсувними структурами Михайлівсько-Голубівського валу, сформованого в шовній зоні південного крайового порушення. В склепінні складки утворений інверсійний грабен просідання над горстовидним уступом докембрійського фундаменту. 3D-модель по підшві відкладів середнього карбону (C<sub>2</sub>b)



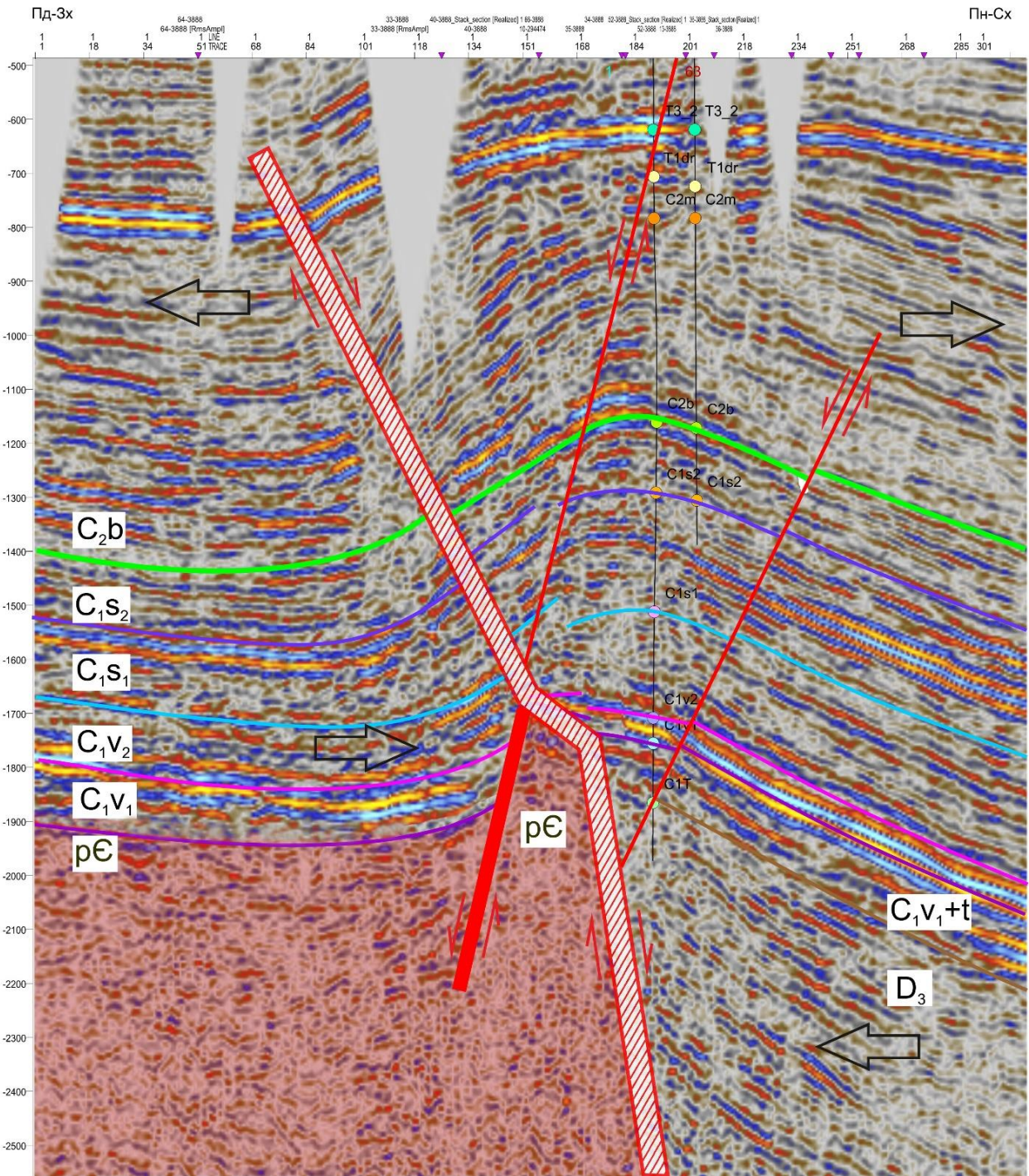


Рис. 4. Кременівська прирозломна горизонтально-зсувна структура

бен через шовну зону південного крайового розлому. Горстовидному уступу фундаменту відповідає Кременівська брахіантикліналь в осадовому чохлі з типовим інверсійним грабеном просідання у склепінні. Магістральний розлом (заштрихований) є реверсним порушенням: в осадовому чохлі – це скидо-зсув з 10-ти кратною перевагою горизонтальної амплітуди зміщення (500 м) над вертикальною (50 м), а в докембрійському фундаменті це зсуво-скид, що утворює бортовий уступ, висотою понад 2500 м.

У рельєфі осадового чохла палеорифту плі-

кативні ЗРД мікрозломного типу складають здебільшого ізометричні або овальні, зрідка дугоподібні улоговини, до яких належать Срібненсько-Роменська, Синівсько-Зінківська, Михайлівська, Машівсько-Красноградська та Балаклійсько-Савинська структурні улоговини (рис. 2).

Принципову тектонічну будову і кінематику формування диз'юнктивних лінійних зсувних зон, а також динамічно пов'язаних із ними плікативних ЗРД мікрозломного типу розглянуто на прикладі фрагменту будови Михайлівсько-Охтирської ЗРД у вісьовій частині Дніпровського

грабена (рис. 2, 5, 6). Солохівська і Матвіївська антиклінальні складки є типовими горизонтально-зсувними деформаційними (постседиментаційними) солянокупольними структурами, що належать до прирозломного типу СТТ. У тектонофізичному сенсі вони є структурними дуплексами стискання, сформованими у тектонічному режимі транспресії над девонськими соляними криптодіапірами. На початку свого формування, на етапі платформної активізації, вони входили до складу спільного тектонічного елементу – Солохівсько-Диканського структурного валу. Згодом, на колізійному етапі відбувалась фрагментація єдиної зональної структури внаслідок формування Михайлівсько-Охтирської лінійної зони зсувного контролю. Тому, наразі Солохівське і Матвіївське підняття розділені Ворсклянським прогином лінзовидної морфології, що формується на неотектонічному етапі еволюції в геодинамічній обстановці транстенсії над шовною зоною Дніпродзержинського (Верховцевсько-Льговського) глибинного розлому фундаменту.

Боковими тектонічними обмеженнями обох типів плікативних ЗРД слугують розломні зони зсувного контролю, що складаються із територіально і динамічно сполучених лінійних зон сколювання, для яких характерна максимальна концентрація розривних деформацій, переважно зсувів та їх комбінацій. Амплітуди горизонтально-зсувних переміщень по них варіюють від декількох сотень метрів до перших десятків кілометрів.

Специфічною рисою будови плікативних СТТ є фрактальність і "телескопічна" внутрішня структура, що виникає за рахунок вкладеності аналогічних за генезисом і морфологією структурних форм різного масштабу. Найбільш яскраво вона проявлена у кулісних структурах "доміно" (структурний тип деформацій згідно М. Коппа, 1991), які є основним елементом тектонічної будови усіх виявлених структурних дуплексів стискання. Вони складаються із кулісних структурних ансамблів однойменних за кінематикою рухів із ротаційною складовою доменів субпаралельних розломів, переважно підкидів, в ортогональному напрямку до яких відбуваються горизонтальні переміщення деформованих геоблоків (рис. 2).

Отже, по результатах регіональних геотектонічних досліджень вперше в окремий тип зональних і субрегіональних тектонічних елементів платформного осадового чохла виділено структурні парагенези і зони реїдної деформації, що ускладнюють первинну рифтову структуру ДДП. Вони є проявом інверсійних етапів структурної еволюції земної кори і представлені переважно сполученими кулісними ансамблями дуп-

лексів стискання або розтягання зі складно деформованою внутрішньою будовою, просторовою неоднорідністю інтенсивності стрес-метаморфічних деформацій і, відповідно, територіального розташування різних морфолого-генетичних типів СТТ.

За даними картування виділених морфолого-генетичних типів СТТ встановлено, що новітнє регіональне поле тектонічних напруг характеризується поздовжньою до простягання геоструктури просторовою неоднорідністю прояву двох контрастних геодинамічних обстановок – стискання або розтягання. Це зумовило формування у структурі палеорифту двох поздовжніх структурних хвиль пострифтових ускладнень, які утворюють дві структурні смуги деформацій – південну і північну, що відрізняються за переважаючого в їх межах тектонічного режиму – транспресії або транстенсії (рис. 2).

Південна смуга плікативних дислокацій тектонічної течії осадових порід, з точки зору тектонічної позиції, охоплює практично всю південну прибортову зону Дніпровського грабена. Південну смугу СТТ складають парагенези структурних дуг стискання (дуплексів стискання) прирозломного типу, утворених в тектонічному режимі транспресії. Північна смуга дислокацій, за своєю тектонічною позицією, займає більшу решту території Дніпровського грабену, охоплюючи його осьову і північну прибортову зони. Північну смугу складають плікативні парагенези структурних дуг розсування (дуплексів розтягання) міжрозломного типу, які формувались у тектонічному режимі транстенсії. Обидві смуги, крім того, розділяються на окремі поперечні сегменти лінійними розломними зонами зсувного контролю, що належать до диз'юнктивного надрозломного типу СТТ.

Таким чином, у структурі осадових комплексів платформного чохла, в усіх без винятку тектонічних районах ДДП, *вперше виявлено та ідентифіковано вторинні деформаційні структурні форми- структури тектонічної течії різної морфології, масштабу і генезису*, які є природними геологічними об'єктами, сформованими на інверсійних етапах історії геологічного розвитку палеорифту.

**Висновки.** Інверсійним етапам структурно-речовинної еволюції земної кори притаманний *регіональний масштаб деформації об'ємної тектонічної течії гірських порід*, якою зумовлені значні горизонтально-площинні переміщення геомас у внутрішньо-плитних рифтогенних геоструктурах. Реїдна динамічна деформація геомас є звичайним природним тектонічним процесом пострифтових етапів історії розвитку таких геоструктур. Цей процес визначає головні риси сис-



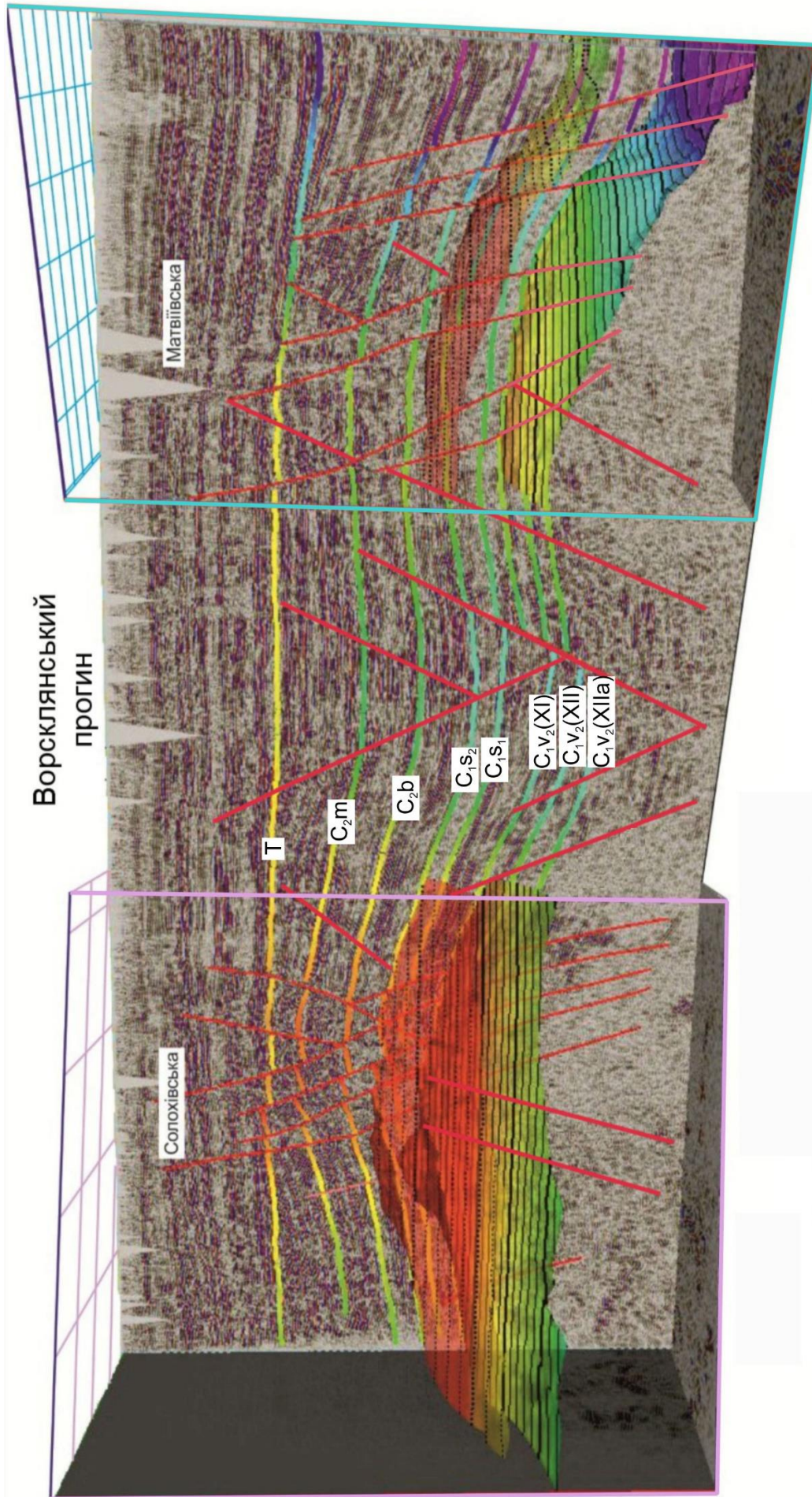


Рис. 5. Структурний прояв колізійного короблення осадового чохла осової зоні Дніпровсько-Донецького палеорифту. Солохівська і Матвіївська брахіантикліналі є деформаційними горизонтально-зсувними структурами Солохівсько-Диканського валу, який було фрагментовано внаслідок формування Михайлівсько-Охтирської лінійної зони зсувного контролю. Наразі вони розділені Ворсклянським прогином, що формується над шовною зоною Дніпродзержинського (Верховцевсько-Льговського) глибинного розлому.



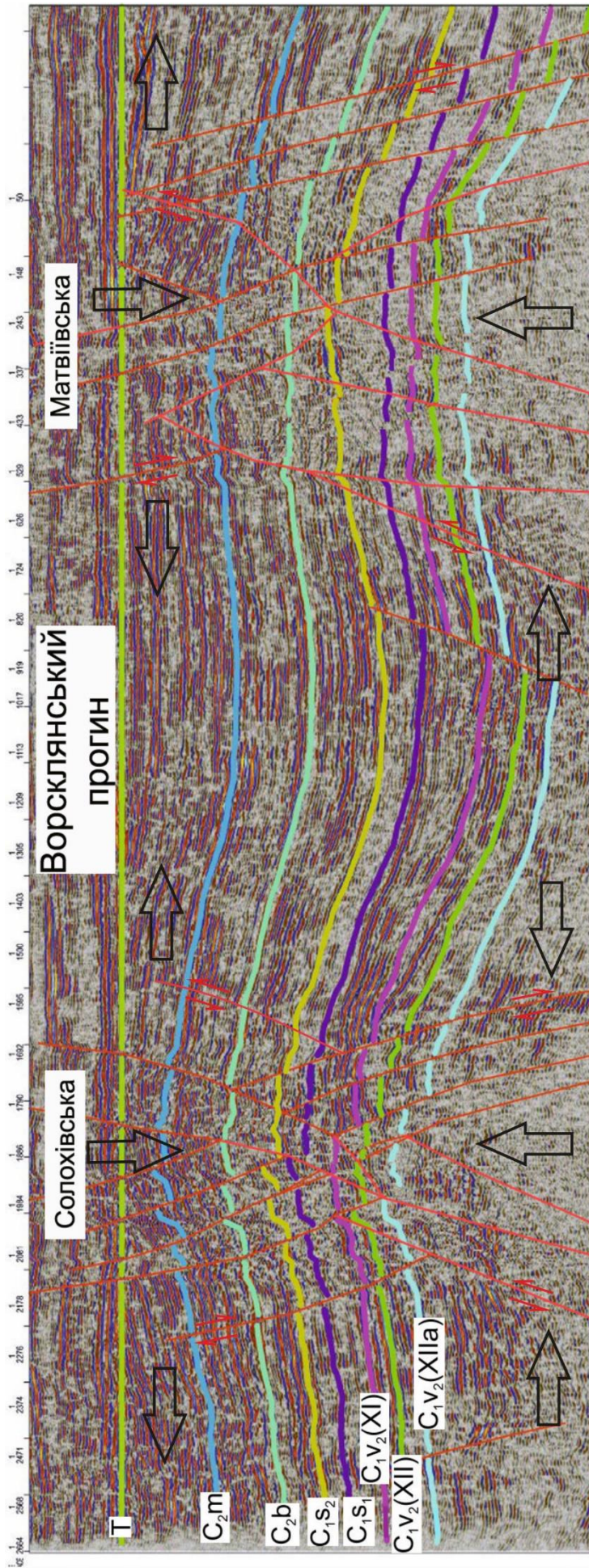


Рис. 6. Палеорекострукція вздовж Солохівсько-Диканського структурного валу на початок пфальцької фази кіммерійського тектогенезу. Приклад будови і кінематики формування вторинних деформаційних горизонтально-зсувних структур над уступами докембрійського фундаменту з утворенням інверсійних грабенів просідання в склепіннях брахіангикліналей. Обидва підняття, у тектонофізичному сенсі, є прирозломними дуплексами стискання (contractional duplex), а Ворсклянський прогин міжрозломним дуплексом розтягу (extensional duplex).

темної організації новітньої архітектури ДДП, що є предметом досліджень у заключній частині даної трилогії.

Головним результатом структурного прояву реїдної тектоніки у геологічній будові осадових комплексів платформного чохла ДДП визначено горизонтальні переміщення його первинних тектонічних елементів-мегаблоків, сегментів, геоблоків, окремих тектонічних структур вздовж ди-

намічно сполучених доменів зсувів. *Горизонтальними переміщеннями геомас зумовлено формування вторинних деформаційних структур тектонічної течії різного масштабу, морфології і генезису, якими складено поздовжні структурні хвилі- смуги пострифтових деформацій у структурі платформного осадового чохла палеорифту.*

#### **Література**

1. Стоянов, С. *Механизм формирования разрывных зон [Текст] / С. Стоянов. – М.: Недра, 1977. – 144 с.*
2. Sylvester, A. G. *Strike-slip faults [Text] / A. G. Sylvester // Geol. Soc. Amer. Bull, 1988. Vol. 100. – P. 1666-1703.*
3. Woodcock, J. T. *The role of strike-slip fault systems at plate boundaries [Text] / J. T. Woodcock // Phil. Trans. R. Soc. London, 1986. – P. 13-29.*
4. Паталаха. Е. *Механизм возникновения структур течения в зонах сжатия [Текст] / Е. Паталаха. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 216 с.*
5. Буртман, В. *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.*
6. Крапивнер, Р. *Бескорневые неотектонические структуры [Текст] / Р. Крапивнер. – М.: Недра, 1986. – 204 с.*
7. Леонов, М. *Внутриплитные зоны концентрированной деформации: тектоническая структура и особенности эволюции [Текст] / М. Леонов. // Геотектоника, 2012. – № 6. – С. 3-28.*
8. Алексеев, В. *Структурный парагенезис зон стресс-метаморфизма [Текст] / В. Алексеев. // Геотектоника, 1990. – № 5. – С. 21-32.*
9. Чиков, Б. *Введение в физические основы статической и динамической геотектоники [Текст] / Б. Чиков. – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2011. – 299 с.*
10. Гончаров, М. *Введение в тектонофизику [Текст] / М. Гончаров, В. Талицкий, Н. Фролова – М.: Книжный дом "Университет", 2005. – 496 с.*
11. Тимурзиев, А. *Структуры горизонтального сдвига осадочных бассейнов и опыт применения тектонофизических методов для повышения эффективности поисков, разведки и освоения присдвиговой нефти [Текст] / А. Тимурзиев. // Геофизический журнал, 2014. – № 2, Т. 36. – С. 172-185.*
12. Леонов, М. *Трансрегиональные зоны концентрированной деформации: строение, эволюция, сравнительная геодинамика [Текст] / М. Леонов. // Геотектоника, 2016. – № 2. – С. 3-22.*
13. Колодяжный, С. *Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций [Текст] / С. Колодяжный. // Геотектоника, 2010. – № 2. – С. 1-22.*
14. Гинтов, О. *Структурно-петрофизическая и тектонофизическая основа геологической карты кристаллического фундамента центральной части Голованевской шовной зоны Украинского щита [Текст] / О. Гинтов // Геофиз. журн. 2016. Т. 38. № 3. – С. 3-24.*
15. Копп, М. *Дугообразные структуры растяжения в кинематическом анализе региональных и глобальных тектонических обстановок [Текст] / М. Копп. // Геотектоника, 2017. – № 6. – С. 18-36.*
16. Бартацук, О. *Еволюція геодинамічних умов нафтогазоносності земної кори Дніпровсько-Донецького палеорифту. [Текст] / О. Бартацук. Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія, 2017. – Вип. 44. – С. 44-56.*
17. Бартацук, О. *Системна організація диз'юнктивної тектоніки консолідованого фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 3. Структурно-кінематичні парагенези тектонічної течії зон горизонтально-здвигових дислокацій [Текст] / О. Бартацук. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 48. – Х.: ХНУ, 2018. С. 12-27.*
18. Бартацук, О. *Горизонтальні переміщення геомасивів у континентальних рифтогенних геоструктурах (на прикладі Дніпровсько-Донецького палеорифту). Частина 1. Структурні прояви тектонічної течії у фундаменті [Текст] / О. Бартацук, В. Суярко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 49. – Х.: ХНУ, 2019. С. 10-27.*
19. *Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки) масштаб 1: 000 000, Редактор Н. Крылов. Москва: Министерство геологии СССР, 1988. 4 л.*
20. 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.*

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



UDC 551.24.548:242.7:248(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Senior Researcher, 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>;

**Vasyl Suyarko,**

Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,  
Chair of Mineralogy, Petrography and Minerals, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [vgsuyarko@gmail.com](mailto:vgsuyarko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>

## **HORIZONTALLY DEPLACEMENT GEOMASSES IN THE CONTINENTAL RIFT GEOSTRUCTURES (ON THE EXAMPLE OF THE DNIPRO-DONETS PALEORIFT). PART 2. STRUCTURAL PARAGENESES OF THE REID DEFORMATION OF THE SEDIMENTARY COVER**

**Formulation of the problem.** The inversion stages of the structural-material evolution of the continental crust are characterized by regional scale of the deformation of volume tectonic flow of platform sedimentary rocks, which caused significant horizontally-healthy movements of tectonically activated geo-mass in the intra-plate graben-rift. The dynamic deformation of geomases manifests itself at the final stages of the geological development of such structures; therefore, it determines the main features of the systemic organization of the modern architecture of the basement and sedimentary cover complexes.

**Review of previous publications and studies.** Secondary deformation linear slope, according to Patalakha E. (1979); Alekseev V. (1990) is considered as a set of local strike-slip zones, formed on spherically-located viscous faults, forming joint tectonic flows. The structural skeleton of tectonic flows, as the basis of the tectonic dislocation process, make offsets with the horizontally and rotational component movements. Horizontal landslides are typical disjunctive elements of the continental structures formed in the geodynamic conditions of the transtension (grabens, rifts), transpression (folded mobile belts, intra-plate activation zones), as well as the basic structural elements of the strike-slip tectonics of the sedimentary basin.

**The purpose of the article.** The second part of the trilogy continues regional geotectonic studies of post-rift complications of the sedimentary cover structure of Dnipro-Donets Paleorift (DDP), covering the three main stages of the platform tectonic activation. Late Hercynian epoch was characterized by the formation of large linear anticlinal zones and salt-shafts against the background of the general synclinal deflection of sedimentary basin, located within the paleorift. Cimmerian epoch of tectonic activity led to significant thrust deformations of the primary structural forms of the cover in the geodynamic setting of collision compression with intensification of the horizons of the sedimentary cover. The structural manifestation of strike-slip tectonics at Alpine epoch in sedimentary complexes are mainly horizontal displacements of geomases of blocks, lineaments, local tectonic elements and structures along dynamically interconnected coulisse of strike-slip domains.

**Methods.** Structural kinematic analysis of transformations of the fracture systems of the Upper-Visean sedimentary complex under the influence of natural mechanism of reid tectonic flow of rocks.

**Results.** The secondary structures of strike-slip deformation, structural kinematic parageneses, dislocations zones and subregional structural waves were identified in the structure of the platform cover, which are natural geological objects formed at the inversion stages of geological development of DDP.

**Scientific novelty and practical significance.** The result of structural manifestation of volume tectonic flow in the platform complex was horizontal displacements of the original tectonic elements, blocks, segments, structures along dynamically-linked strike-slip domains. This is caused by the formation of secondary deformation structures of various scales, morphology and genesis, which comprise longitudinal structural waves of strips of post-rift deformations in the structure of the sedimentary cover of DDP.

**Keywords:** fault systems, sedimentary cover, tectonic flow structure, structural-kinematic paragenesis, strike-slip dislocation zone.

### **References**

1. Stoyanov, S. (1977). *The mechanism of formation of fault zones*. Moscow: Nedra, 144.
2. Sylvester, A. G. (1988). *Strike-slip faults*. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 100, 1666-1703.
3. Woodcock, J. T. (1986). *The role of strike-slip fault systems at plate boundaries*. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 13-29.
4. Patalaha, E. (1979). *Forming mechanisms of flow structures in stress-zones*. *Alma-Ata: Science*, 216.

5. *Burtman, V., Lukyanov, A., Peive, A., Ruzhentsev, S. (1963). Horizontal displacement along faults and some methods for studying them. Faults and horizontal movements of the earth's crust. Moscow: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 5-33.*
6. *Krapivner, R. (1986). Rootless newest tectonic structures. Moscow: Nedra, 204.*
7. *Leonov, M. (2012). Intraplate zones of concentrated deformation: tectonic structure and evolution features. Geotectonics, 6, 3-28.*
8. *Alekseev, V. (1990). Structural paragenesis of stress-metamorphism zones. Geotectonics, 5, 21-32.*
9. *Chikov, B. (2011). Introduction to the physical foundations of static and dynamic geotectonics. Novosibirsk: Academic publishing house "Geo", 299.*
10. *Goncharov, M., Talitsky, V., Frolova, N. (2005). Introduction to tectonophysics. Moscow: University book house, 496.*
11. *Timurziev, A. (2014). Strike-slip structures of sedimentary basins and experience of applying tectonophysical methods to increase the efficiency of prospecting, exploration and development of near-Strike-slip oil. Geophysical journal, 2 (36), 172-185.*
12. *Leonov, M. (2016). Transregional zones of concentrated deformation: structure, evolution, comparative geodynamics. Geotectonics, 2, 3-22.*
13. *Kolodyazhny, S. (2010)/ Structural-kinematic parageneses in the Phanerozoic cover sediments of the Central Russian dislocation zone. Geotectonics, 2, 1-22.*
14. *Gintov, O. (2016). Structural-petrophysical and tectonophysical basis of the geological map of the crystalline basement of the central part of the Golovanevskaya suture zone of the Ukrainian shield. Geophys. journals 3 (38), 3-24.*
15. *Kopp, M. (2017). Arc-like structures of tension in the kinematic analysis of regional and global tectonic conditions. Geotectonics, 6, 18-36.*
16. *Bartashchuk, O. (2017). Evolution of geodynamics conditions of oil and gas content of Earth crust of Dnieper-Donets paleorift. View of IGS, NAS of Ukraine. Series "Tectonics and Stratigraphy", 44, Kyiv, 44-56.*
17. *Bartashchuk, O. (2018). System organization of the disjunctive tectonics of consolidated basement of the Dnieper-Donets paleorift. Part 3. Structural-kinematic parageneses of the Strike-slip dislocations zones. News of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology.", 48, Kharkiv, 12-27.*
18. *Bartashchuk, O., Suyarko, V. (2019). Horizontal displacement geomasses in the continental rift geostructures (on the example of the Dnipro-Donets paleorift) Part 1. Structural manifestations of the tectonic flows of basement. News of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology.", 49, Kharkiv, 10-27.*
19. *Krylov, N. ed. (1988). Map of faults and main areas of lineaments of the south-west of the USSR (using materials from space imagery). Scale 1 : 1 000 000, Moscow, The Ministry of Geology of USSR, 4.*
20. *Kopp, M. (1991). Structural patterns associated with longitudinal movements within the fold belts (on the example of the Mediterranean-Himalayan belt). Geotectonics, 1, 21-36.*

УДК 550.834

**Ірина Николаевна Безродная,**

к. геол. н., ст. науч. сотрудник, зам. директора УНИ «Институт геологии»,  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,  
e-mail: [bezin3@ukr.net](mailto:bezin3@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-6835-5276>;

**Дмитрий Анатолиевич Безродный,**

к. геол. н., доцент, доцент кафедры геофизики УНИ «Институт геологии»,  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
e-mail: [manific2@ukr.net](mailto:manific2@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7463-7133>;

**Олеся Александровна Козионова,**

ведущий инженер НИЧ УНИ «Институт геологии»,  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
e-mail: [rapakivi@ukr.net](mailto:rapakivi@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2563-8719>

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ И УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

*Цель работы – анализ параметров упругой и акустической анизотропии при исследовании многокомпонентной модели породы-коллектора, которая представлена сланцем. Для решения поставленной задачи использовались методы условных моментных функций с использованием расчётной схемы Мори-Танака, а также метод наименьших квадратов. Разработана методика математического моделирования эффективных упругих постоянных нетрадиционных сланцевых пород-коллекторов.*

*Обосновано и разработано 8 разновидностей математических моделей, характеризующих минеральный состав, структуру пустотного пространства и упругие свойства, которые характерны для сланцевых пород-коллекторов Днепровско-Донецкой впадины Украины. В основу моделей взяты предыдущие публикации авторов и результаты петрографических исследований в УНИ «Институт геологии». Авторами впервые проведен анализ упругих постоянных моделей пород, компонентов акустического тензора, параметров линейности и сланцеватости, стереопроекции изолиний указательных поверхностей девяти параметров упругой анизотропии, а также парам Томсена. Установлено, что по акустическим данным возможно проследить изменение структуры пустотного пространства породы-коллектора, концентрацию породообразующих минералов в породе. Трещиноватость имеет большее влияние на структуру породы, чем гранулярные пустоты и структура минералов. Наибольшие значения (больше 20 %) имеют коэффициенты анизотропии в породах, где пустоты ориентированы в плоскости перпендикулярной оси скважины.*

*При расчётах параметров Томсена получены параметры упругой анизотропии, которые характеризуют не только минеральный состав пород, но и качественно структуру пустотного пространства, ориентацию минералов и пустот в породах. Рассчитанные параметры Томсена коррелируют с акустическими параметрами анизотропии.*

*Подобные разработанные модели могут быть использованы при интерпретации геофизических данных для внесения поправок за упругую анизотропию при поисках и разведке сложнопостроенных сланцевых пород-коллекторов, а также – для составления банка данных математических моделей пород-коллекторов приведенного региона.*

**Ключевые слова:** нетрадиционная сланцевая порода-коллектор, математическое моделирование, упругая и акустическая анизотропия, параметры Томсена.

**І. М. Безродна, Д. А. Безродний, О. О. Козионова. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ І ПРУЖНОЇ АНІЗОТРОПІЇ СЛАНЦЕВИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ.** Мета роботи – аналіз параметрів пружної і акустичної анізотропії при дослідженні багатоконпонентної моделі породи-коллектора, яка представлена сланцем. Для вирішення поставленого завдання використовувалися методи умовних моментних функцій з використанням розрахункової схеми Морі-Танака, а також метод найменших квадратів. Розроблено методіку математичного моделювання ефективних пружних постійних нетрадиційних сланцевих порід-коллекторів.

*Обґрунтовано і розроблено 8 різновидів математичних моделей, що характеризують мінеральний склад, структуру пустотного простору і пружні властивості, які характерні для сланцевих порід-коллекторів Дніпровсько-Донецької западини України. В основу моделей взяті попередні публікації авторів і результати петрографічних досліджень в ННІ «Інститут геології». Авторами вперше проведено аналіз пружних постійних моделей порід, компонентів акустичного тензора, параметрів лінійності і сланцеватості, стереопроекції ізоліній вказівних поверхонь дев'яти параметрів пружної анізотропії, а також параметри Томсена. Встановлено, що за акустичними даними можливо простежити зміну структури пустотного простору породи-коллектора, концентрацію породотвірних мінералів в породи. Трещиноватість має більший вплив на структуру породи, ніж гранулярні пустоти і структура мінералів. Найбільші значення (більше 20%) мають коефіцієнти анізотропії в породах, де пустоти орієнтовані в площині перпендикулярній осі свердловини.*

*При розрахунках параметрів Томсена отримані параметри пружної анізотропії, які характеризують не тільки мінеральний склад порід, але і якісно структуру пустотного простору, орієнтацію мінералів і пустот в породах. Розраховані параметри Томсена корелюють з акустичними параметрами анізотропії.*

*Подібні розробленим моделі можуть бути використані при інтерпретації геофізичних даних для внесення поправок за пружну анізотропію при пошуках і розвідці складнопобудованих сланцевих порід-коллекторів, а також при складанні банку даних математичних моделей порід-коллекторів наведеного регіону.*

**Ключові слова:** нетрадиційна сланцева порода-коллектор, математичне моделювання, пружна і акустична анізотропія, параметри Томсена.

**Введение.** Промышленные скопления нефти и газа в нетрадиционных породах-коллекторах встречаются в мире значительно реже, по сравнению с месторождениями в песчаных и карбонатных породах. Поиски и разведка скоплений углеводородов в таких коллекторах требуют нетрадиционных подходов, в частности, и при разработке интерпретационных моделей пород.

Именно математическое моделирование может выступать надежной основой для оценки влияния минералогического состава, а также типа пустотного пространства на физические свойства пород-коллекторов. При рассмотрении перспективности сланцевых пород-коллекторов, которые в силу своего строения обладают анизотропией, математическое моделирование их эффективных упругих и акустических свойств возможно только при применении более совершенных моделей, которые бы адекватно отражали их свойства и структуру, а также деформационные процессы, которые в них происходят.

Оценка акустической и упругой анизотропии сланцевых пород-коллекторов очень важна в связи с необходимостью введения поправок за анизотропность пород при сейсмоакустических исследованиях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследование анизотропии упругих свойств осадочных пород и минералов немногочисленны и достаточно противоречивы. Исследователи, занимавшиеся этим вопросом, в частности исследователи из Украины: И.Н. Безродная, Д.А. Безродный, С.А. Выжва, Б.П. Маслов, Г.Т. Продайвода и зарубежные ученые: Atkinson, L. Chen, D. Grgic, AA-C. Guéry, F. Cormery, L. Daridon, P. Haupt, Th. Kersten, D. Hoxha, A. Giraud, James J. Sheng, Y. Kozlovsky, V.E. Mirenkov, Y. Monerie, A.A. Krasnovsky, P. Plechac, J. Sgaoula, J.F. Shao, LS. Tsai, Xiukun Wang, MC. Weng, K. Wojtacki, K. Wilmański, К.С. Александров, А.А. Арутюнов, И.О. Баюк, Д.Е. Белобородов, Г.И. Джалалов, М.А. Дунямалыев, С.Ф. Левин, Т.В. Ольнева, О.В. Савенок, М. Храмченков Г.А. Шехтман и другие [1–19] уделяли внимание математическому моделированию анизотропных акустических свойств, но в основном рассматривали синтетические модели материалов, хотя в широком диапазоне пористости были получены и прогнозы упругих свойств.

В частности, представлен новый метод 3-D математического моделирования [1] для создания реалистичных гомогенных и гетерогенных моделей порового песчаника, сущность которого сводится к построению модели песчаника, которая является наиболее приближенной к реальным поровым песчаникам. Анализ показал [1],

что уплотнение пород уменьшает пространственную непрерывность значений физических параметров в горизонтальном направлении более быстро, чем в вертикальном.

Исследователями [1–5] проводилось математическое моделирование свойств традиционных пород-коллекторов простой структуры пустотного пространства.

В работах [6–9] оценивался потенциал сланцевых пород-коллекторов и проводилось физико-химическое моделирование подобных пород [10].

В работе [11] при исследовании известняков и песчаников предполагалось, что пустотное пространство представлено пустотами уже двух видов – порами и трещинами, здесь для выражения связи между эффективным тензором упругости и параметрами внутреннего строения среды использовался метод обобщенного сингулярного приближения.

В Украине подобное математическое моделирование проводилось в Киевском национальном университете имени Тараса Шевченко с участием авторов [14–18]. При моделировании акустических и упругих свойств пород-коллекторов в предыдущих исследованиях авторы использовали интегрированные модели трещинно-порово-кавернозных пород, что более характерно для сложнопостроенных пород-коллекторов.

Для сланцевых пород-коллекторов моделирование акустических и упругих свойств с учетом их анизотропности ранее не проводилось.

#### **Теория исследований.**

Предполагается, что тензорные поля упругих постоянных, напряжений и деформаций – статистически однородны [12]. Это в дальнейшем позволяет заменить усреднения случайных тензорных полей с макроскопическим объемом усреднением по ансамблю реализации.

Модель нетрадиционного сланцевого коллектора рассматривается авторами как многокомпонентная порово-трещинная кусочно-непрерывная среда, упругие свойства структурных элементов которой и их напряженно-деформированное состояние являются случайными функциями пространственных координат.

Для определения эффективных упругих постоянных  $C_{mn}^*$  применялся метод условных моментных функций [12, 19]. В этом методе для их определения необходимо найти зависимость между средними деформациями во включении, ориентированном в  $n$ -ном направлении  $\mathcal{E}^{(in)}$  и макроскопическими деформациями матрицы  $\mathcal{E}^{(m)}$ :

$$\varepsilon^{in} = \langle \varepsilon \rangle + C_m d_i Z_i \varepsilon^{(m)}, \quad f_i = C^{(i)} - C^0, \quad d_i = C(i) - C(m),$$

где  $C_m$  – объемная концентрация матрицы;  
 $C^{(i)}$  – упругие постоянные  $i$ -го включения;  
 $C(m)$  – упругие постоянные матрицы;  
 $C^0$  – упругие постоянные тела сравнения.

В случае, когда включения ориентированы вдоль оси  $x_3$  и равномерно в плоскости  $x_1x_2$ , функция распределения ориентации имеет следующий вид:

$$f(\varphi, \theta) = \frac{1}{2\pi c_1} [\xi_{12} \delta(\theta - \pi/2) + \xi_3 \delta(\theta)],$$

где  $\delta(\theta)$  – функция Дирака;

$\xi_{12}$  – объемная концентрация трещин в плоскости  $x_1x_2$ ;

$\xi_3 = c_1 - \xi_{12}$  – объемная концентрация трещин, ориентированных в направлении оси  $x_3$ .

В зависимости от функции распределения трещин и их объемной концентрации упругая симметрия тензора эффективных упругих постоянных может изменяться от изотропной к ромбической.

Для численных расчетов эффективных упругих постоянных многокомпонентных сланцевых коллекторов в работе использовался обобщенный метод условных моментных функ-

$$A_\mu = \left[ \frac{\frac{1}{3} [(\mu_g - \mu_m)^2 + (\mu_m - \mu_p)^2 + (\mu_g - \mu_p)^2]}{\mu_g^2 + \mu_m^2 + \mu_p^2} \right]^{1/2} \cdot 100\%.$$

По определенным собственным значениям акустического тензора рассчитываются параметры анизотропии акустического эллипсоида [12]:

- акустическая сланцеватость,  $S_\mu = \mu_m / \mu_p$ ;
- акустическая линейность,  $L_\mu = \mu_g / \mu_m$ .

Результаты моделирования анализируют путем построения графиков изменения упругих постоянных, а также графиков зависимостей плотности и акустической анизотропии от концентрации различных форматов пустот трещинно-порового пространства и от концентрации включений минералов.

По упругим постоянным и плотности в трехмерной программе Surfer с помощью оригинальных программ создают стереопроекции изолиний значений параметров упругой анизотропии.

На следующем этапе исследований авторами впервые рассчитаны известные при интер-

претации сейсморазведки параметры Томсена [12 - 20].

На основе построенных моделей подбираются уже просчитанные параметры упругих постоянных ее составляющих (минералов и пустотных наполнителей) и их плотность в соответствии с минеральным скелетом.

Результатом расчетов является полученная модель с изменением значений упругих постоянных в зависимости от концентрации или формата трещинно-порового пространства, концентрации или типа минерала.

Получив полный набор упругих постоянных анизотропной упругой среды, рассчитываются компоненты акустического тензора  $\mu$  ( $\mu_{11}$  – максимальное,  $\mu_{22}$  – промежуточное,  $\mu_{33}$  – минимальное значения), согласно соотношению [12]:

$$\rho \mu_{11} = C_{11} + C_{55} + C_{66},$$

$$\rho \mu_{22} = C_{22} + C_{44} + C_{66},$$

$$\rho \mu_{33} = C_{33} + C_{44} + C_{55}.$$

Получив собственные значения акустического тензора, далее определяется коэффициент акустической анизотропии ( $A_\mu$ ) по формуле:

претации сейсморазведки параметры Томсена [21] по результатам моделирования упругих постоянных для исследованных моделей сланцевых пород-коллекторов, а именно:

- $\varepsilon$  - относительный коэффициент анизотропии продольной волны;
- $\delta$  - отклонение от эллиптичности изменения скорости продольной волны;
- $\gamma$  - эллиптичность изменения скорости поперечной волны в зависимости от отклонения направления от вертикали.

Эти параметры можно рассчитать в поперечно-изотропном приближении ( $\varepsilon, \delta, \gamma$ ), но по результатам моделирования пород можно получить параметры Томсена и для ортотропной среды:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{13} &= \frac{C_{11} - C_{33}}{2C_{33}}, & \gamma_{13} &= \frac{C_{66} - C_{44}}{2C_{44}}, & \delta_{13} &= \frac{(C_{13} + C_{44})^2 - (C_{33} - C_{44})^2}{2C_{33}(C_{33} - C_{44})}; \\ \varepsilon_{23} &= \frac{C_{22} - C_{33}}{2C_{33}}, & \gamma_{23} &= \frac{C_{66} - C_{55}}{2C_{55}}, & \delta_{23} &= \frac{(C_{23} + C_{44})^2 - (C_{33} - C_{44})^2}{2C_{33}(C_{33} - C_{44})}; \\ \varepsilon_{12} &= \frac{C_{11} - C_{22}}{2C_{22}}, & \gamma_{12} &= \frac{C_{55} - C_{44}}{2C_{44}}, & \delta_{12} &= \frac{(C_{12} + C_{66})^2 - (C_{22} - C_{66})^2}{2C_{22}(C_{22} - C_{66})}. \end{aligned}$$



Полученные параметры Томсена используются в сейсморазведке при учете различных типов сейсмической анизотропии:

- трансверсальной изотропии с наклонной осью симметрии,
- трансверсальной изотропии с горизонтальной осью симметрии,
- трансверсальной изотропии с вертикальной осью симметрии,
- орторомбической анизотропии [11].

**Обоснование математической модели** сложнопостроенного сланцевого коллектора, разработанной в работе, основывается на результатах исследований подобных пород в УНИ «Институт геологии» [13, 22], а именно интервалов московского яруса развития сланцевых пород-коллекторов скважин Артемовской площади ДДв.

При формировании моделей пород авторами принято во внимание, что исследованный интервал (3710 – 3735 м) скважины № 1 Артемовской площади представлен сланцами серыми до темно-серых, сцементированными известково-глинистым цементом. Текстура слоистая, иногда косослоистая, подчеркивается листовыми тонкими (до 1 – 2 см) слоями черного углистого аргиллита. В шлифовках видна косая слоистость с элементами перекрестно-волнистой.

По данным лабораторных исследований значения пористости в исследованных породах московского яруса колеблются в пределах 1,1 – 3,4 %. Карбонатность изменяется от 0 до 15,3 %. Определение коэффициента проницаемости образцов в лабораторных условиях часто сопровождалось растрескиванием, что делало невозможным получение достоверных результатов. Последнее свидетельствует о существенной

трещиноватости или способности образовывать трещины в породах всех исследованных литотипов.

По данным геофизических исследований скважин (ГИС) в изучаемом интервале скважины значения пористости достаточно низкие и мало отличаются для различных литологических разновидностей пород. Содержание органического вещества в глинистых сланцах – преимущественно существенное (более 1 %).

За основу модели взяты образцы (№№ 103АТ, 105АТ, 107АТ) алевролитистых сланцев с алевритовой структурой (0,05 – 0,25 мм), неясно слоистой текстурой. Минеральный состав: кварц (40 %), гидрослюда (иллит) (15 %), крипнокристаллический карбонат (15 %) и относительно крупные (до 0,5 – 1,0 мм) карбонатные обломки (до 40 % от общего содержания карбонатной составляющей), растительный детрит (5 – 7%), по которому развивается микрокристаллический пирит; отмечены единичные поры и микротрещины закрытого типа [13, 22].

Таким образом, авторами создан ряд моделей сланца сложнопостроенного нефтенасыщенного кальцитизированного пиритизированного углефицированного. Минеральный состав моделей представлен минералами: кварц, пирит, уголь (в сумме – 66,3 %), кальцит – 15,3 %, иллит – 15 %; пористость породы - 3,4 %.

Пустоты в двух типах моделей пород ориентированы по-разному: по осям X, Y, Z и в плоскости XOY, которая перпендикулярна стволу скважины (табл. 1). Они представлены межзерновыми порами (формат 0,9) для всех типов моделей кроме трещинного коллектора, трещинами (формат 0,001) и вторичными пустотами уплотнения (форматы 0,05 и 0,01).

Таблица 1

Параметры математических моделей

Обозначение модели	Тип коллектора	Ориентация пустот в модели	Формат пустот (концентрация пустот, %)
Aosn1	гранулярно-трещинный	по осям X, Y, Z	0,001(1), 0,05 (1), 0,9 (1,4)
Aon1		в плоскости XOY	
Aosn2	трещинно-гранулярный	по осям X, Y, Z	0,001(1), 0,05 (1), 0,01 (0,5), 0,9 (0,9)
Aon2		в плоскости XOY	
Aosn3		по осям X, Y, Z	
Aon3		в плоскости XOY	0,001(1), 0,05 (1), 0,01 (1), 0,9 (0,4)
Aosn4	трещинный	по осям X, Y, Z	0,001(1), 0,05 (1), 0,01 (1,4)
Aon4		в плоскости XOY	

**Результаты.** Анализ результатов моделирования сланцевых пород-коллекторов позволяет сделать следующие выводы.

Авторами рассчитаны упругие постоянные для всех восьми моделей. Установлено, что постоянная  $C_{33}$  независимо от типа пустотного пространства для всех моделей имеет приблизительно одинаковое значение. Остальные значения упругих постоянных четко отличают тип ориентации пустот и минералов: для моделей, где включения ориентированы в плоскости  $XOY$  значения  $C_{11}$ ,  $C_{22}$ ,  $C_{44}$ ,  $C_{55}$ ,  $C_{66}$ ,  $C_{23}$  являются большими по сравнению с другими моделями того же типа породы-коллектора, а значения  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,

наоборот, являются меньшими в этих моделях, чем в тех где включения расположены по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . По результатам анализа компонент матрицы упругих постоянных моделей установлен исключительно поперечно-изотропный тип симметрии текстуры.

Для моделей, в которых пустоты и минералы расположены по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рис. 1), характерен планальный тип симметрии текстуры породы; для моделей с включениями, ориентированными в плоскости  $XOY$ , присущи повышенные значения акустической линейности, то есть характерен аксиальный тип симметрии текстуры.

В зависимости от ориентации включений

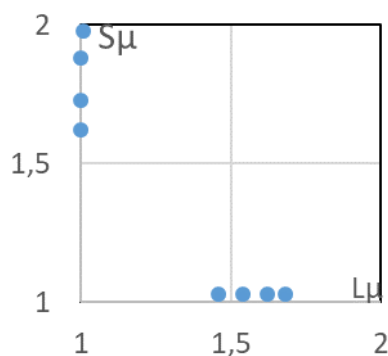


Рис. 1. Определение типа симметрии по взаимному расположению акустических линейности и сланцеватости моделей сланцевых пород-коллекторов

коэффициент интегральной акустической анизотропии ( $A_{\mu}$ ) моделей изменяется (табл. 2), но постоянно возрастает при увеличении количества трещин в моделях пород. Наименьшее значение  $A_{\mu}$  характерно для моделей, где включения расположены по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (меньше 19,33 %) для модели гранулярно-трещиноватого сланца, где включения расположены по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Наибольшее значение – 26,99 % присуще для модели трещинного сланца с включениями, ориентированными в плоскости  $XOY$ .

На рис. 2-3 представлен пример стереопроекций указательных поверхностей рассчитанных девяти упругих параметров. В зависимости от типа модели на стереопроекциях прослеживается изменение приведенных параметров, причем модели с ориентированными в плоскости  $XOY$  включениями имеют очевидную ориентационную направленность изменения параметров.

Анализ построенных стереопроекций упругих параметров анизотропии моделей сланцевых пород коллекторов позволил сделать следующие выводы.

Таблица 2

Параметры акустической анизотропии моделей

№ пп	№ модели	Параметры акустической анизотропии						Тип симметрии
		$A_{\mu}$ , %	$L_{\mu}$	$S_{\mu}$	$\mu_{11}$	$\mu_{22}$	$\mu_{33}$	
1	Aosn1	19,33	1,46	1,03	24,06	23,36	35,21	планальная
2	Aon1	20,32	1	1,62	23,58	23,62	38,32	аксиальная
3	Aosn2	21,82	1,54	1,03	22,65	22,08	34,9	планальная
4	Aon2	22,61	1	1,73	21,61	37,41	37,49	аксиальная
5	Aosn3	24,16	1,62	1,03	21,43	20,84	34,67	планальная
6	Aon3	25,34	1	1,88	20,16	37,88	38,04	аксиальная
7	Aosn4	25,85	1,68	1,03	20,58	20,02	34,53	планальная
8	Aon4	26,99	1,01	1,98	19,1	37,81	38,01	аксиальная

Характер упругой анизотропии для всех ее параметров существенно отличается для моделей с ориентацией пустот по осям X, Y, Z (модели Aosn1, Aosn2, Aosn3, Aosn4) и моделей, где пустоты ориентированы в плоскости XOY (модели Aon1, Aon2, Aon3, Aon4). Однако, все без исключения рассчитанные модели сланцевых пород-коллекторов являются высокоанизотропными.

Математические модели коллекторов с ориентацией пустот по осям X, Y, Z характеризуются наличием одного ярко выраженного экстремума для скорости квазипродольной волны  $V_p$  (максимум), дифференциального коэффициента упругой анизотропии  $A_d$  и угла отклонения вектора упругих смещений от направления волновой нормали (минимумы). А также двойным минимумом разницы между «быстрой» и «медленной» квазипоперечными волнами, значений упругих модулей (минимум для модуля Юнга, максимум для коэффициента Пуассона, минимум для модуля сжатия).

Для первых трех параметров это направление совпадает с направлением распространения

волны продольной поляризации, максимальные значения которой находятся в пределах 5200 – 5300 м/с для указанных моделей.

Соответствующие минимумы других параметров, близки к нулю, что подчеркивает, тот факт, что свойства распространения упругих волн в этом направлении близки к изотропной среде. Максимальные значения дифференциального коэффициента упругой анизотропии изменяются для этих моделей от 31 до 36 %, что однозначно относит все модели к высокоанизотропным.

В центральной приосевой области для моделей Aosn1, Aosn2, Aosn3, Aosn4 четко выделяется двойной минимум параметра  $\Delta V_s$ , значение которого близко к нулю. Это показывает, что в данных направлениях явление расщепления волны поперечной поляризации фактически отсутствует. Вместе с тем, значение этого параметра достигает величин примерно 1000 м/с, что однозначно подчеркивает факт, что рассмотренные модели с ориентацией пустот по осям X, Y, Z можно уверенно назвать высокоанизотропными.

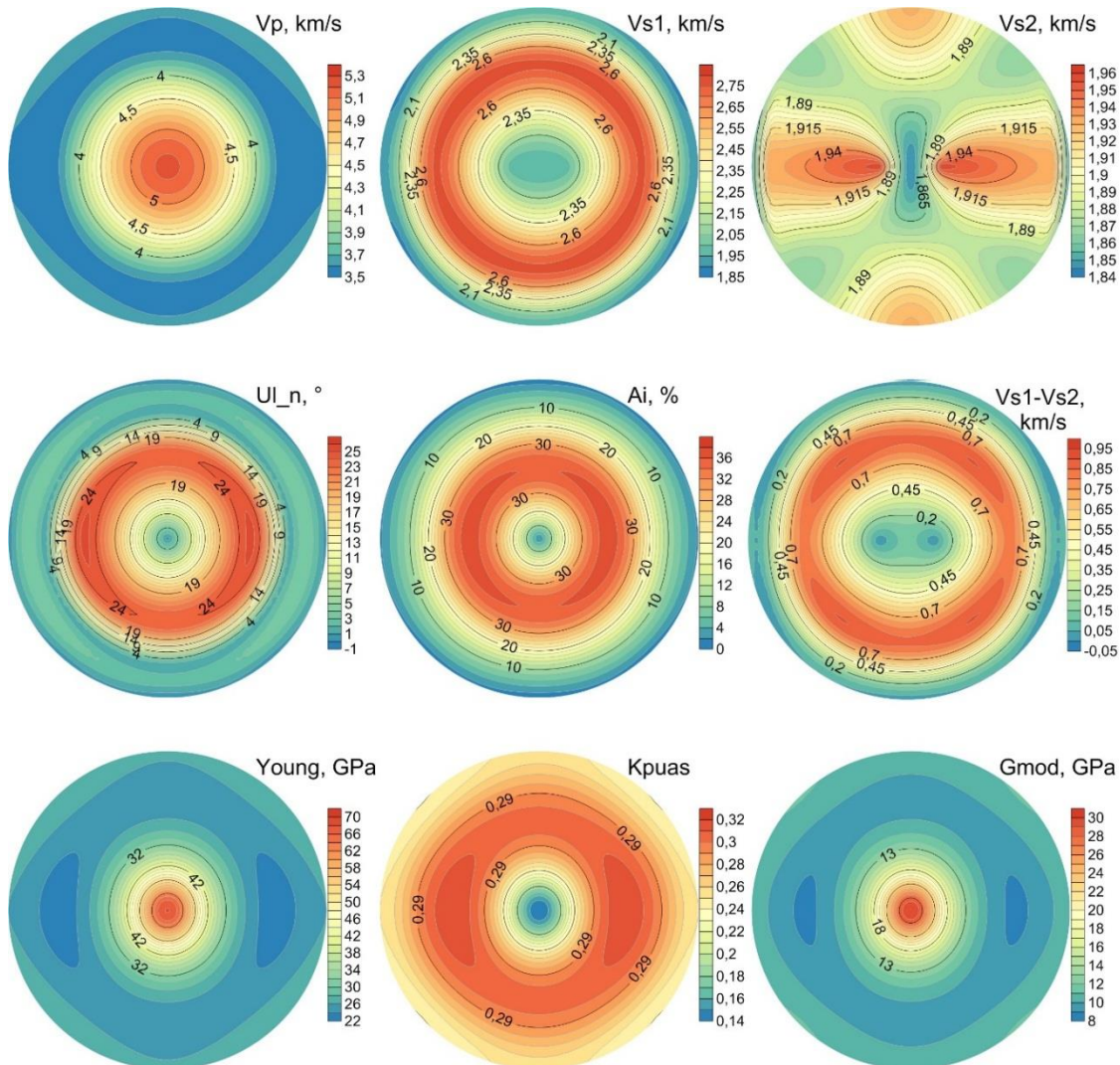


Рис. 2. Стереопроекции указательных поверхностей параметров анизотропии модели Aosn4



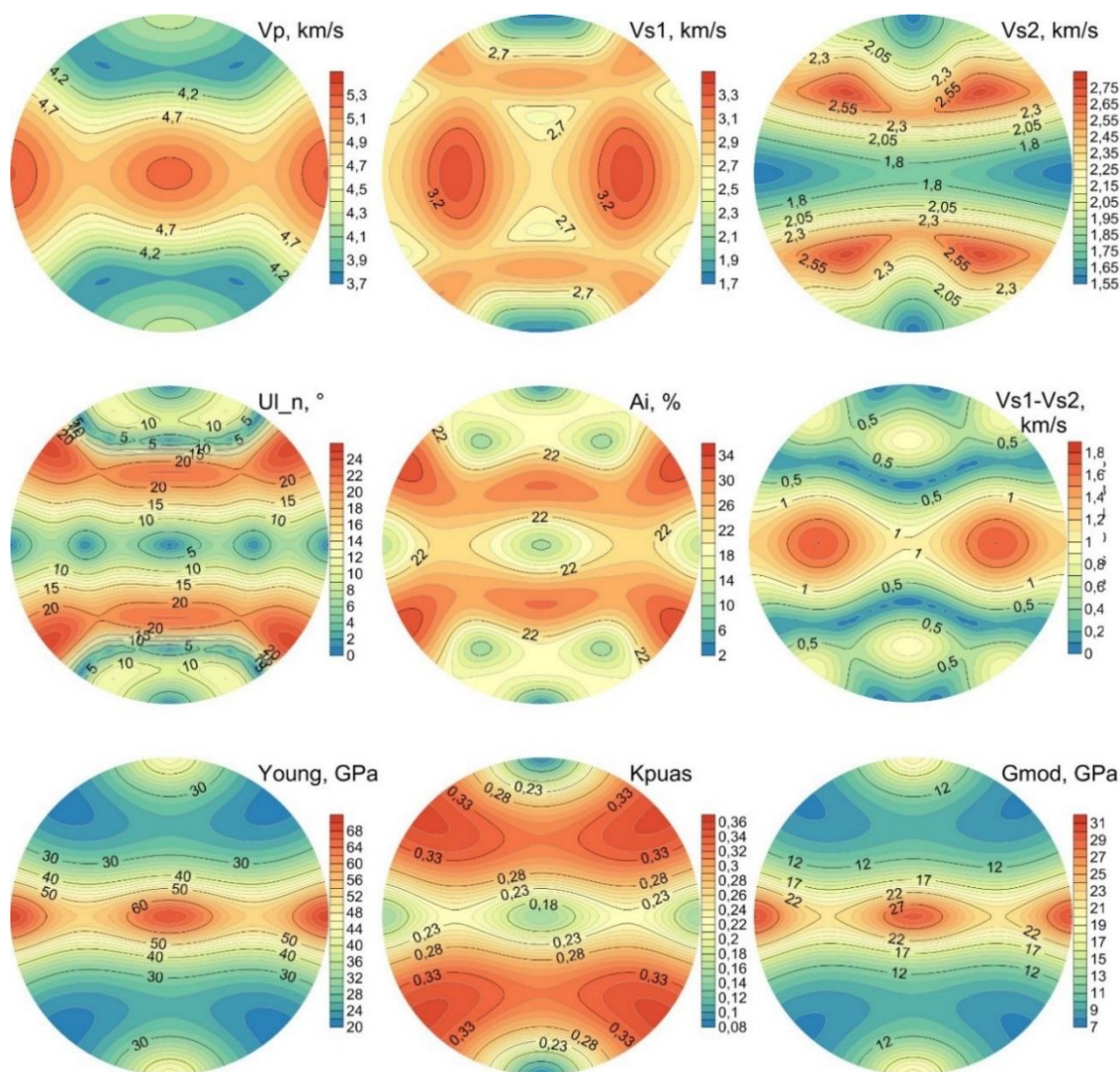


Рис. 3. Стереопроєкції указательних поверхностей параметрів анізотропії для моделі Aon1

Значення еластичних модулів (Юнга, Пуассона, сжатия) для моделей Aon1, Aon2, Aon3, Aon4 в цілому не являються показовими для визначення типу колектора. В основному, вони змінюються плавно від моделі до моделі і їх значення становлять:  $E = 22 \div 70$  ГПа,  $K_{\text{пуас}} = 0,14 \div 0,34$ ,  $G = 8-30$  ГПа. На стереопроєкції цих параметрів для всіх чотирьох моделей характерні тільки 3 екстремуми

Еластична симетрія моделей Aon1, Aon2, Aon3, Aon4 – поперечно-ізотропна.

Швидкість квазіпродольної хвилі в моделях Aon1, Aon2, Aon3, Aon4 декілька більше (рис. 3), ніж в моделях з орієнтацією порожнин вздовж осей X, Y, Z і досягає величини 5350 м/с. В порівнянні з розглянутими раніше моделями кількість екстремумів збільшується і коливається для різних типів моделі від семи до дев'яти. Вздовж цих напрямків поширюється продольна хвиля.

Різниця між «швидкою» і «повільною» поперечними хвилями змінюється від 1800 до

1950 м/с і на указальній поверхні виділяється 12-ю екстремумами різної інтенсивності.

Для моделей, де порожнини орієнтовані в площині XOY (моделі Aon1, Aon2, Aon3, Aon4) параметри еластичної анізотропії мають більш складне розподілення. Для всіх без виключення параметрів характерно наявність мінімуму п'яти екстремумів, що свідчить про специфічні особливості поширення еластичних хвиль в представлених моделях.

На стереопроєкції еластичних модулів (Юнга, Пуассона, сжатия) для моделей Aon1, Aon2, Aon3, Aon4, в порівнянні з розглянутими раніше моделями з осевим орієнтацією порожнин, кількість екстремумів збільшилася до 9, що вказує на те, що напрямлена вздовж сланцеватості тріщинуватість дуже сильно змінює структуру породи в цілому. При аналізі результатів моделювання для різних типів колекторів встановлено, що типи пористості не сильно впливають на анізотропію еластичних модулів упруго-

сти. В общем, модули имеют более широкий диапазон, чем в предыдущей группе моделей и изменяются в диапазоне:  $E = 18 \div 70$  ГПа,  $K_{\text{Плас}} = 0,04 \div 0,36$ ,  $G = 6-32$  ГПа. Наибольшее различие на стереопроекции имеют проекции коэффициента Пуассона для модели Aon4.

Максимальные значения дифференциального коэффициента упругой анизотропии изменяются от 34 до 43 %, что подтверждает, что представленные модели - высокоанизотропные. С минимумами этого параметра (2%, т.е. отсутствуют изотропные направления) совпадают минимумы угла отклонения вектора упругих смещений от направления волновой нормали, которые мало отличаются от нуля.

Таким образом, даже при преобладании высокоанизотропной среды для представленных моделей в их объеме существуют такие особые направления, где упругие свойства среды мало отличаются от ближайшей к ним изотропной среды.

Для использования разработанной методики математического моделирования в практике поисковых геофизических работ авторами впервые

рассчитаны для моделей сланцевого коллектора параметры Томсена для ортотропной среды ( $\epsilon_{12}, \epsilon_{13}, \epsilon_{23}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{23}, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{23}$ ) и проведен анализ полученных результатов (рис. 4-5).

По результатам математического моделирования установлено, что для сланцев, где пустоты ориентированы в плоскости напластования (ХОУ), большинство параметров Томсена ( $\epsilon_{12}, \epsilon_{23}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \delta_{12}$ ) имеют противоположный знак по отношению к параметрам, которые характеризуют сланец с пустотами, которые ориентированы по осям X, Y, Z независимо от типов и концентрации пустот (рис. 4).

Авторами проведен анализ взаимосвязи параметров Томсена и параметров акустической анизотропии. В целом, корреляционных зависимостей между этими параметрами не получено, но на большинстве точечных кросс-плотов обособились 2 класса моделей (с разной ориентацией пустот) на две группы точек (пример - на рис. 5), что говорит о влиянии структуры пустотного пространства на параметры Томсена.

В целом, параметры Томсена дают дополни-

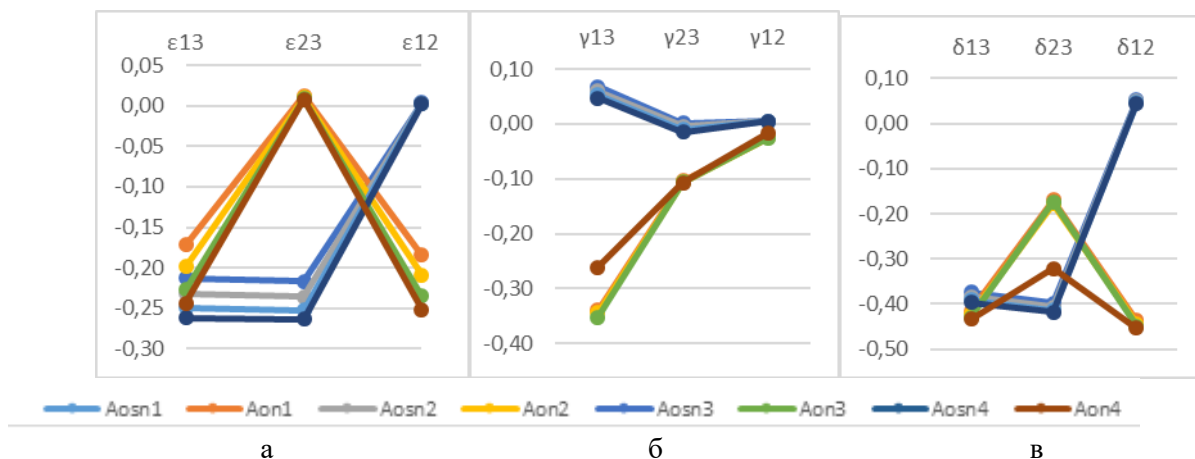


Рис. 4. Параметры Томсена для моделей сланцевого коллектора: а -  $\epsilon$ , б -  $\delta$ , в -  $\gamma$

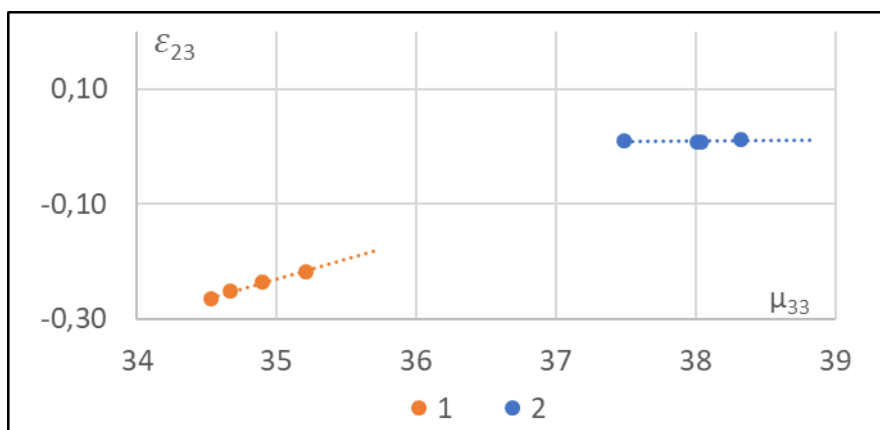


Рис. 5. Взаимосвязь параметров Томсена  $\epsilon_{23}$  и компонента акустического тензора  $\mu_{33}$  для моделей сланцевого коллектора: 1 – модели Aosn1, Aosn2, Aosn3, Aosn4; 2 - модели Aon1, Aon2, Aon3, Aon4

тельную інформацію об упругій анизотропії досліджуваних моделей порід, і їх розрахунок може бути використаний при наявності матриці упругих постійних порід при проведенні сейсмоакустичних досліджень.

**Висновки.** Авторами розроблена методика математичного моделювання ефективних упругих постійних нетрадиційних сланцевих порід-колекторів.

Обосновано і розроблено 8 різновидностей математичних моделей, характеризуючих мінеральний склад, структуру порожнього простору і упругі властивості, які характерні для сланцевих порід-колекторів Дніпровсько-Донецької впадини України.

При аналізі упругих постійних, компонентів акустичного тензора, параметрів лінійності і сланцеватості, стереопроекцій ізоліній вказувальних поверхностей дев'яти параметрів упругої анизотропії, а також параметрів Томсена встановлено:

- по акустичним даним можливо прослідкувати зміну структури порожнього простору породи-колектора, концентрацію породообразуючих мінералів в породі;
- тріщинуватість має більше впливу на структуру породи, ніж гранулярні порожноти і структура мінералів;
- на коефіцієнт акустичної анизотропії найбільше впливу має орієнтація включень; найбільші значення мають коефіцієнти анизотропії в породах, де порожноти орієнтовані в площині XOY;
- сланцеві породи-колектори – високоанізотропні: коефіцієнт акустичної анизотропії для всіх типів моделей перевищує 10 % (19,3 – 26,99 %), в таких породах на коефіцієнт впливає як сланцеватість (орієнтація) мінералів, так і орієнтація порожнот, а особливо тріщин;

- анизотропія модулів упругості кардинально відрізняється для груп моделей сланців з різною орієнтацією порожнот і подібна для моделей з однаковою орієнтацією порожнот;

- при розрахунках параметрів Томсена отримані параметри упругої анизотропії, які характеризують не тільки мінеральний склад порід, але і якісно структуру порожнього простору, орієнтацію мінералів і порожнот в породах;

- параметри Томсена для моделей сланцевих порід-колекторів корелюють з акустичними параметрами анизотропії;

- параметри акустичної і упругої анизотропії є індикаторами при дослідженні однотипних порід з різними типами мінеральних включень і структури порожнього простору.

Проведене авторами математичне моделювання упругих і акустичних параметрів, яке характеризує їх анизотропію, є важливим етапом при обґрунтуванні математичних моделей сланцевих порід-колекторів. Подібні моделі можуть бути використані при інтерпретації геофізичних даних (сейсморозвідки і геофізичних досліджень скважин) для внесення поправок за упругу анизотропію при пошуку і розвідці нафто-, газо- і водонасичених складно побудованих нетрадиційних сланцевих порід-колекторів, а також – для складання банку даних математичних моделей порід-колекторів вказаного регіону.

В перспективі авторами планується провести практичне вивчення подібних порід з використанням інваріантно-поляризаційного методу дослідження порід, який дає можливість отримати повний набір матриці упругих постійних.

#### Література

1. Wojtacki, K. *The elastic properties of sandstone submitted to progressive dissolution [Текст]* / K. Wojtacki, L. Daridon, Y. Monerie Computing, K. Wojtacki // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Montpellier, France. – 2017. – С. 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.12.015>
2. Guéry, A. *A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial [Текст]* / A. Guéry, F. Cormery, K. Suet et al. // *Phys. Chem. Earth*. – 2008. – №33. – С. S416–S421.
3. Weng, M. *An associated elastic-viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation [Текст]* / M. Weng, L. Tsai, Y. Hsieh, F. Jeng // *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 2010. – №47. – С. 1263–1273.
4. Atkinson, B.K. *Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications [Текст]* / B.K. Atkinson // *J. Struct. Geol.* – 1982. – №4. – С. 41–56.
5. Grgic, D. *Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferrous formation: PhD Thesis [Текст]* / D. Grgic. – INPL, Nancy. – 2001.
6. Гулієв, І.С. *Оцінка генераційного потенціалу сланцевих низкопроницаємих товщ (майкопська серія Кавказу) [Текст]* / І.С. Гулієв, В.Ю. Керімов, Р.Н. Мустаєв, А.В. Бондарев // *SOCAR Proceedings*. – 2018. – №1. – С. 4–20. DOI: 10.5510/OGP20180100335

7. Johnson, D. Reservoir characterization of the Barnett Shale [Електронне видання] / D. Johnson // Barnett Shale Symposium, Ellison Miles Geotechnology Institute at Brookhaven College, Dallas, Texas. 12–13 November, 2003. <http://www.energyconnect.com/pttc/archive/barnettshalesym/2003barnettshalesymp.pdf>.
8. Lopatin, N.V. Unconventional Oil Accumulations in the Upper Jurassic Bazhenov Black Shale Formation, West Siberian Basin: A Self-Sourced Reservoir System [Текст] / N.V. Lopatin, S.L. Zubairaeв, I.M. Kos, T.P. Emets, E.A. Romanov, O.V. Malchikhina // Journal of Petroleum Geology. – 2003. – Vol. 26. – P. 225–244. [doi.org/10.1111/j.1747-5457.2003.tb00027.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2003.tb00027.x)
9. Арутюнов, Т.В. Сланцевый газ как перспективный вид ископаемого топлива [Текст] / Т.В. Арутюнов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 2. – С. 27–35.
10. Арутюнов, Т.В. Постановка задачи физико–химического моделирования сланцевых пород [Текст] / Т.В. Арутюнов, А.А. Арутюнов, О.В. Савенок // Научно–технический журнал «Инженер–нефтяник». – 2015. – № 1. – С. 42–47.
11. Баяк, И.О. Сейсмоакустические исследования ядра при пластовых условиях [Текст] / И.О. Баяк, Д.Е. Белобородов, И.А. Березина и др. // Технологии сейсморазведки. – 2015. – №2. – С. 36–45. <http://ts.sbras.ru> [doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45](https://doi.org/10.18303/1813-4254-2015-2-36-45)
12. Продайвода, Г. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу [Текст] / Г. Продайвода, С. Вишва, І. Безродна, Т. Продайвода. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 368 с.
13. Александров, К.С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород [Текст] / К.С. Александров, Г.Т. Продайвода. – Н.: Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.
14. Безродна, І. Математичне моделювання впливу мінерального скелету та пористості на параметри пружної анізотропії складнопобудованих теригенних порід–колекторів Волино–Поділля [Текст] / І. Безродна, Д. Безродний, Р. Голяка // Вісник Київського університету. Геологія. – 2016. – №73. – С.27–32. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.73.04>.
15. Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки: Звіт з НДР [Текст] / С.А. Вишва, І.І. Онищук, І.М. Безродна та ін. – Київ, 2017.
16. Безродна, І. Аналіз впливу мінерального скелету порід–колекторів Руновщинської площі на пружні та акустичні параметри (за результатами математичного моделювання) [Текст] / І. Безродна, Д. Безродний, О. Козіонова // Вісник Київського університету. Геологія. – 2017. – №77. – С. 52–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.06>
17. Продайвода, Г.Т. Дослідження впливу тектонічних деформацій на параметри пружної і акустичної анізотропії залізистих кварцитів Криворізької надглибокої свердловини за даними математичного моделювання [Текст] / Г.Т. Продайвода, Д.А. Безродний, І.М. Безродна // Вісник Київського університету. Геологія. – 2012. – №57. – С. 8–12.
18. Prodayvoda, G.T. Mathematical modeling of influence of fluid saturation and saline's on the elastic and acoustic properties of volyn–podillya limestone's [Електронне видання] / G.T. Prodayvoda, I.M. Bezrodna, T.M. Kuzmenko // Матеріали ІХth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2010, Kiev, Ukraine.
19. Продайвода, Г.Т. Акустика текстур гірських порід [Текст] / Г.Т. Продайвода. – К.:ВГЛ “Обрії”, 2004. – 144 с.
20. Mori, T. Average Stress in Matrix and Average Elastic Energy of Materials with misfitting inclusions [Текст] / T. Mori, K. Tanaka // Acta Metallurgica. – 1973. – V. 21, №4. – P. 571–574.
21. Thomsen, L. Weak elastic anisotropy [Текст] / L.Thomsen // Geophysics. – 1986. – №51 (10). – С. 1954–1966. [doi:10.1190/1.1442051](https://doi.org/10.1190/1.1442051).
22. Михайлов, В.А. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. В. 1. Нетрадиційні джерела вуглеводнів: огляд проблеми [Текст] / В.А. Михайлов, Е.А. Ставицький, О.А. Проскураков та ін. – К.: Ніка–Центр, 2013. – 208 с.

**Вклад авторов:** все авторы сделали равный вклад в эту работу.



UDC 550.834

**Iryna Bezrodna,**

PhD (Geology), Senior Researcher, Deputy Director of Institute of Geology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,  
e-mail: [bezin3@ukr.net](mailto:bezin3@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-6835-5276>;

**Dmytro Bezrodnyi,**

PhD (Geology), Associate Professor of the Department of Geophysics,  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [manific2@ukr.net](mailto:manific2@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7463-7133>;

**Olesia Kozionova,**

Lead Engineer, Institute of Geology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [rapakivi@ukr.net](mailto:rapakivi@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2563-8719>

## MATHEMATICAL MODELING OF THE ACOUSTIC AND ELASTIC ANISOTROPY OF THE SHALE RESERVOIR ROCKS OF THE DNIPRO-DONETSK DEPRESSION

The **purpose** of the work is to analyze the parameters of elastic and acoustic anisotropy in the study of a multicomponent reservoir rock model, which is represented by shale.

**Research theory** To solve this problem, the methods of conditional moment functions using the Mori-Tanaka calculation scheme, as well as the ordinary least squares were used. The technique of effective elastic invariables mathematical modelling of unconventional shale reservoir rocks has been developed.

**Justification of the mathematical model** Eight varieties of mathematical models that characterize the mineral composition, the structure of the void space and elastic properties that are characteristic for shale reservoir rocks of the Dnipro-Donetsk depression in Ukraine were substantiated and developed. The models are based on previous publications by the authors and the results of petrographic studies at the Institute of Geology.

**Results** The authors for the first time carried out an analysis of elastic constant rock models, acoustic tensor components, linearity and shale parameters, isolines stereo projections of index surfaces of nine elastic anisotropy parameters, as well as Thomsen parameters.

Acoustic data can be used to trace the change in the structure of the reservoir rock void space, the concentration of rock-forming minerals in the rock. Fracturing has a greater effect on rock structure than granular voids and mineral structure. The orientation of inclusions has the greatest influence on the coefficient of acoustic anisotropy, anisotropy coefficients in rocks, where the voids are oriented in the plane perpendicular to the borehole axis have the largest values (more than 20%).

When calculating the Thomsen parameters, the parameters of elastic anisotropy were obtained. They characterize not only the mineral composition of the rocks but also the qualitative structure of the void space, the orientation of minerals and voids in the rocks. Thomsen parameters correlate with acoustic anisotropy parameters for shale reservoir models.

The parameters of acoustic and elastic anisotropy are indicators in the studies of similar-type rocks with different types of mineral inclusions and the structure of the void space.

The mathematical modelling of elastic and acoustic parameters which characterizes their anisotropy and was carried out by the authors is an important step in substantiating mathematical models of shale reservoir rocks. Such models can be used in the interpretation of geophysical data (seismic surveys and well logging) to make corrections for elastic anisotropy in prospecting and exploration of oil, gas and water saturated unconventional shale reservoir rocks of complex structure, and also to compile a database of mathematical models of reservoir rocks in the given region.

**Keywords:** unconventional shale reservoir rock, mathematical modeling, elastic and acoustic anisotropy, Thomsen parameters.

### References

1. Wojtacki, K., Daridon, L., Monerie Computing, Y., Wojtacki K. (2017). *The elastic properties of sandstone submitted to progressive dissolution. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Montpellier, France, 16-25. <http://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.12.015>*
2. Guéry, A., Cormery, F., Suet K. et al. (2008). *A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial. Phys. Chem. Earth, 33, 416-421.*

3. Weng, M., Tsai, L., Hsieh, Y., Jeng F. (2010). An associated elastic–viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 47, 1263-1273.
4. Atkinson, B.K. (1982). Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications. *J. Struct. Geol.*, 4, 41-56.
5. Grgic, D. (2001). Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferriferous formation. PhD Thesis. INPL, Nancy.
6. Guliyev, I.S., Kerimov, V.YU., Mustayev, R.N., Bondarev, A.V. (2018). The estimation of the generation potential of the low permeable shale strata of the Maikop Caucasian series. *SOCAR Proceedings*, 1, 4-20. DOI: 10.5510/OGP20180100335
7. Johnson, D. (2003). Reservoir characterization of the Barnett Shale. Barnett Shale Symposium, Ellison Miles Geotechnology Institute at Brookhaven College, Dallas, Texas. 12–13 November 2003. <http://www.energyconnect.com/pttc/archive/barnettshalesym/2003barnettshalesymp.pdf>.
8. Lopatin, N.V., Zubairae, S.L., Kos, I.M., Emets, T.P., Romanov, E.A., Malchikhina, O.V. (2003). Unconventional Oil Accumulations in the Upper Jurassic Bazhenov Black Shale Formation, West Siberian Basin: A Self-Sourced Reservoir System. *Journal of Petroleum Geology*, 26, 225–244. doi.org/10.1111/j.1747-5457.2003.tb00027.x
9. Arutyunov, T.V. (2015). Shale gas as perspective type fossilized fuel. *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*, 2, 27–35.
10. Arutyunov, T.V., Arutyunov, A.A., Savenok, O.V. (2015). Problem definition of physical and chemical modeling of slate breeds. *Scientific and technical magazine «Inzhener-neftyanik»*, 1, 42–47.
11. Bayuk, I.O., Beloborodov, D.Ye., Berezina I.A. et al. (2015). Elastic properties of core samples under confining pressure. *Tekhnologii seysmorazvedki*, 2, 36-45. <http://ts.sbras.ru> doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45
12. Prodayvoda, G., Vyzhva, S., Bezrodna, I., Prodayvoda, T. (2011). Geophysical methods for estimation the performance of oil and gas collectors. K.: VPTS "Kyivskyy universytet".
13. Aleksandrov, K.S., Prodayvoda, G.T. (2000). Anisotropy of the elastic properties of minerals and rocks. N.: Izd. SO RAN.
14. Bezrodna, I., Bezrodnyy, D., Holyaka, R. (2016). Mathematical modelling of influence of the mineral composition and porosity on elastic anisotropic parameters of complex sedimentary rocks of Volyn-Podolia area. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 73, 27-32. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.73.04>.
15. Vyzhva, S.A., Onyshchuk, I.I., Bezrodna, I.M. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core from wells of the Runovshchyna region. Report, Kyiv.
16. Bezrodna, I., Bezrodnyy, D., Kozionova, O. (2017). Analysis of impact of mineral matrix of Runovshchinska area reservoir rocks on the elastic and acoustic parameters (based on the results of mathematical modelling). *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (77), 52-58 <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.06>
17. Prodayvoda, G.T., Bezrodnyy, D.A., Bezrodna, I.M. (2012). Investigation of the influence of tectonic deformations on the parameters of elastic and acoustic anisotropy of ferruginous quartzite of Krivoy Rog ultra-deep well according to mathematical modeling. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 57, 8-12.
18. Prodayvoda, G.T., Bezrodna, I.M., Kuzmenko, T.M. (2010). Mathematical modeling of influence of fluid saturation and saline's on the elastic and acoustic properties of volyno-podillya limestone's. *Materials of the IXth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 11-14 May 2010, Kiev, Ukraine.
19. Prodayvoda, G.T. (2004). Acoustics of rocks texture. K.: VGL "Obriyi".
20. Mori, T., Tanaka, K. (1973). Average Stress in Matrix and Average Elastic Energy of Materials with misfitting inclusions. *Acta Metallurgica*, 21, 4, 571-574.
21. Thomsen, L. (1986). Weak elastic anisotropy. *Geophysics*, 51 (10), 1954-1966. doi:10.1190/1.1442051.
22. Mykhaylov, V.A., Stavys'tkyy, E.A., Proskuryakov, O.A. et al. (2013). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine. B. 1. Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: review of the problem. K.: Nika-Tsentr.

УДК 549:553.31(477.65)

**В'ячеслав Валерійович Стеценко,**

к. геол. н., доцент,

кафедра геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет,

вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна,

e-mail: [stesenko-74@mail.ru](mailto:stesenko-74@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>;

**Валерія Валеріївна Зайченко,**

аспірант, кафедра геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет,

e-mail: [koshkareva0427@gmail.com](mailto:koshkareva0427@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1780-899X>

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛОГІЧНОЇ ВАРІАТИВНОСТІ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ПРОДУКТИВНОЇ ТОВЩИ ПЕТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА (З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМИ $M_M-M_O$ )

*Розглянуті мінералогічні та петрохімічні особливості руд Петрівського родовища, яке використовується для видобутку бідних магнетитових руд. Родовище входить до району Правобережних магнітних аномалій. В його геологічній будові беруть участь дві групи порід: кристалічні породи фундаменту докембрійського віку і рихлі кайнозойські відклади, які їх перекривають. Породні комплекси докембрійського віку представлені сильно метаморфізованими дислокованими породами кристалічного фундаменту архейського і нижньопротерозойського віку. Нижньопротерозойські утворення представлені інгуло-інгулецькою серією, в розрізі якої виділяють зеленореченську з артемівську і родіонівську світи. Артемівська світа є продуктивною в межах досліджуваної території. В структурному плані родовище представляє стиснуту синкліналь, західне крило якої виклинується, а східне простягається в північному напрямку. В зв'язку з цим об'єктом досліджень стало східне крило.*

*Аутигенно-метаморфогенна зональність руд досліджувалась за допомогою хімічних аналізів, модулів магнітності  $M_M$  та окисленості  $M_O$  та діаграми в координатах  $M_M-M_O$ . В результаті, в межах східного крила Петрівської синкліналі, було виділено 8 мінералогічних різновидів руд: кварцити силікатні з магнетитом, кварцити магнетит-силікатні, кварцити силікат-магнетитові, кварцити магнетитові з гематитом, кварцити гематит-магнетитові, кварцити магнетит-гематитові, кварцити гематитові з магнетитом. Також встановлена закономірна зміна різновидів руд від гематитових кварцитів з магнетитом в центральних частинах до силікатних з магнетитом кварцитів на периферії. В тому ж напрямку спостерігається закономірні зміни хімічних показників  $Fe_{заг.}$ ,  $Fe_{магн.}$  та сірки (S) від центру товщі до периферії. Однак виявлена в ході дослідження аутигенно-мінералогічна зональність продуктивної товщі родовища порушується в наслідок накладення метасоматичних процесів, обумовлених формуванням по залізистим кварцитам тіл егіринових та рибекитових метасоматитів.*

**Ключові слова:** Петрівське родовище, бідні магнетитові руди, залізисті кварцити, мінералогічна варіативність, діаграма  $M_M-M_O$ , петрохімічні показники.

**В. В. Зайченко, В. В. Стеценко. ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ВАРИАТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ ПЕТРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ  $M_M-M_O$ ).** Рассмотрены минералогические и петрохимические особенности руд Петровского месторождения, которое используется для добычи бедных магнетитовых руд. Месторождение входит в состав района Правобережных магнитных аномалий. В его геологическом строении принимают участие две группы пород: кристаллические породы фундамента докембрійского возраста и рыхлые кайнозойские отложения, которые их перекрывают. Породные комплексы докембрійского возраста являют собой сильно метаморфизованные дислоцированные породы кристаллического фундамента и представлены архейскими и нижнепротерозойскими образованиями. Нижнепротерозойские образования представлены ингуло-ингулецькой серией, в разрезе которой выделяют зеленореченскую, артемовскую и родионовскую свиты. Артемовская свита является продуктивной на месторождении. В структурном плане месторождение являет собой сжатую синкліналь, западное крыло которой выклинивается, а восточное простирается в северном направлении. В связи с этим объектом исследованной стало восточное крыло.

*Аутигенно-метаморфогенна зональність руд изучалась с помощью химических анализов, модулей магнитности  $M_M$  и окисленности  $M_O$  и диаграммы в координатах  $M_M-M_O$ . В результате, в пределах восточного крыла Петровской синкліналы, было выделено 8 минералогических разновидностей руд: кварциты силикатные с магнетитом, кварциты магнетит-силикатные, кварциты силикат-магнетитовые, кварциты магнетитовые, кварциты магнетитовые с гематитом, кварциты гематит-магнетитовые, кварциты магнетит-гематитовые, кварциты гематитовые с магнетитом. Также выявлена закономерная смена руд от гематитовых кварцитов с магнетитом в центральных частях продуктивной толщи до силикатных с магнетитом кварцитов на периферии. В том же направлении наблюдается закономерное изменение химических показателей  $Fe_{общ.}$ ,  $Fe_{магн.}$  и серы (S) от центра толщи к периферии. Однако обнаруженная в ходе исследования аутигенно-минералогическая зональность продуктивной толщи месторождения нарушается в следствии наложения метасоматических процессов, обусловленных образованием по железистым кварцитам тел эгириновых и рибекитовых метасоматитов.*

**Ключевые слова:** Петровское месторождение, бедные магнетитовые руды, железистые кварциты, минералогическая варіативність, диаграмма  $M_M-M_O$ , петрохимические показатели.

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою для всіх родовищ Криворізького басейну є підвищення вимог до якості концентрату, який отримується з магнетитових кварцитів. Підви-

щення якості концентрату можливе за умов покращення технологічних показників вихідної руди, що можливо при дослідженні мінералогічної варіативності руд.

Руди Петрівського родовища досліджувались раніше, проте протягом останніх 30 років системні дослідження мінералогічних і технологічних властивостей руд родовища не проводились. Існуючі уявлення про склад руд та їх збагачуваність застарілі, оскільки контури розробки рудних покладів вийшли за межі попереднього дослідження. В зв'язку з цим суттєво ускладнились можливості оперативного і перспективного планування гірничо-видобувних робіт та усереднення руд.

**Аналіз попередніх досліджень.** Детальне дослідження мінералогічної варіативності залізистих кварцитів продуктивної товщі родовища проводилось у 80 роках минулого століття (В.Д. Євтехов) [2]. Досліджувались руди центральної частини родовища, яка на поточний час є відпрацьованою на 80%. Перспективним напрямком подальшого видобутку руди є східне крило, яке простягається у північному напрямку. Тому об'єктом досліджень автори обрали східне крило синкліналі, яке раніше вивчалось на етапі дорозвідки у 1983 році, мінералогічна варіативність в ході вивчення не досліджувалась. На сучасному етапі дослідження родовища (2016-2017 рр.) проведено дорозвідку родовища з дослідженням мінералогічної варіативності порід східного крила Петрівської синкліналі.

**Мета і задачі досліджень.** Основною метою дослідження є вивчення мінералогічної варіативності руд Петрівського родовища та розділення їх на типи за хімічним та мінеральним складом. Встановлення закономірностей залягання різних мінералогічних різновидів руд та виявлення чинників, які можуть порушувати цю закономірність.

**Матеріали і методи.** При вивченні мінералогічного складу порід залізисто-кременистої формації і будови її товщ багато питань ефективно вирішуються з використанням результатів хімічних аналізів залізистих кварцитів і вміщуючих порід. В більшості випадків цього достатньо для вирішення проблем мінерального і хімічного складу залізистих порід, його варіативності в розрізах, впливу на склад порід епігенетичних порід (динамотермальний метаморфізм, натрієвий метасоматоз, контактний метаморфізм, гіпергенез) та інших геологічних явищ.

Для візуалізації характеру залежності між складом залізистих порід і руд та їх структурними, текстурними, технічними, технологічними та іншими характеристиками може бути використана діаграма в координатах  $M_M-M_O$  (де  $M_M = Fe_{магн.} / Fe_{заг.}$ ,  $M_O = Fe_2O_3 / (FeO+Fe_2O_3)$ ), вперше опублікована В.Д.Євтеховим [13,14]. Пізніше дана діаграма використовувалась для вирішення багатьох мінералогічних, петрологічних, геохімічних

та технологічних задач [7,15,16,17].

Діаграма дозволяє виконати розвернуту картину масиву даних про хімічний склад залізистих порід з виділенням полів розповсюдження фігуративних точок залізистих кварцитів різного складу, а також представити тенденції змін на топомінералогічному фоні багатьох показників складу і властивостей залізистих порід і руд. Також проводились макро- і мікроскопічні мінералогічні дослідження всіх виявлених різновидів руд.

**Виклад основного матеріалу.** Петрівське родовище залізистих кварцитів розташоване в крайній південно-західній частині району Правобережних магнітних аномалій. Правобережний рудний район займає проміжне положення між Криворізьким і Кременчуцьким рудними районами. Територіально приурочений до північної частини зовнішньої зони Криворізько-Кременчуцького крайового прогину [1, 3, 20].

В геологічній будові Петрівського родовища беруть участь дві групи порід, що різко відрізняються за віком, умовами залягання і ступенем метаморфізму: докембрійські - кристалічні породи фундаменту, сильно дислоковані метаморфізовані та перекриваючі їх рихлі відклади кайнозою. Родовище представляє собою породи гнейсової серії серед великого поля мігматитів, за складом плагіоклаз-біотитових і амфібол-плагіоклаз-біотитових. Серед мігматитів, у вигляді невеликих тіл, зустрічаються амфіболіти. Докембрійські породи складені архейськими і нижньопротерозойськими утвореннями. Архей представлений гранітоїдами дніпропетровського комплексу, які утворюють Інгулецьку глибу, а протерозой – метавулканогенно-осадовими утвореннями інгуло-інгулецької серії, в розрізі якої виділяють (знизу догори): зеленоріченську, артемівську і родіонівську світи (рис.1) [1, 3].

Зеленоріченська світа складена гнейсами амфібол-кварц-біотитовими, кварц-біотитовими, графіт-біотитовими, графіт-амфібол-біотитовими і кварц-карбонатними або карбонатними породами.

До артемівської світи відносяться залізисті породи, представлені породами, так званої, перехідної пачки і залізистими кварцитами. Перехідна пачка представлена магнетит-силікатними і силікатними кварцитами, для яких характерно підвищений вміст силікатів і мала масова доля магнетиту. Корисною копалиною на Петрівському родовищі є залізисті кварцитами. Неокислені різновиди представлені магнетитовими, силікат-магнетитовими, гематит-магнетитовими і магнетит-гематитовими кварцитами і магнетит-сидеритовою породою.

Родіонівська світа складена біотитовими



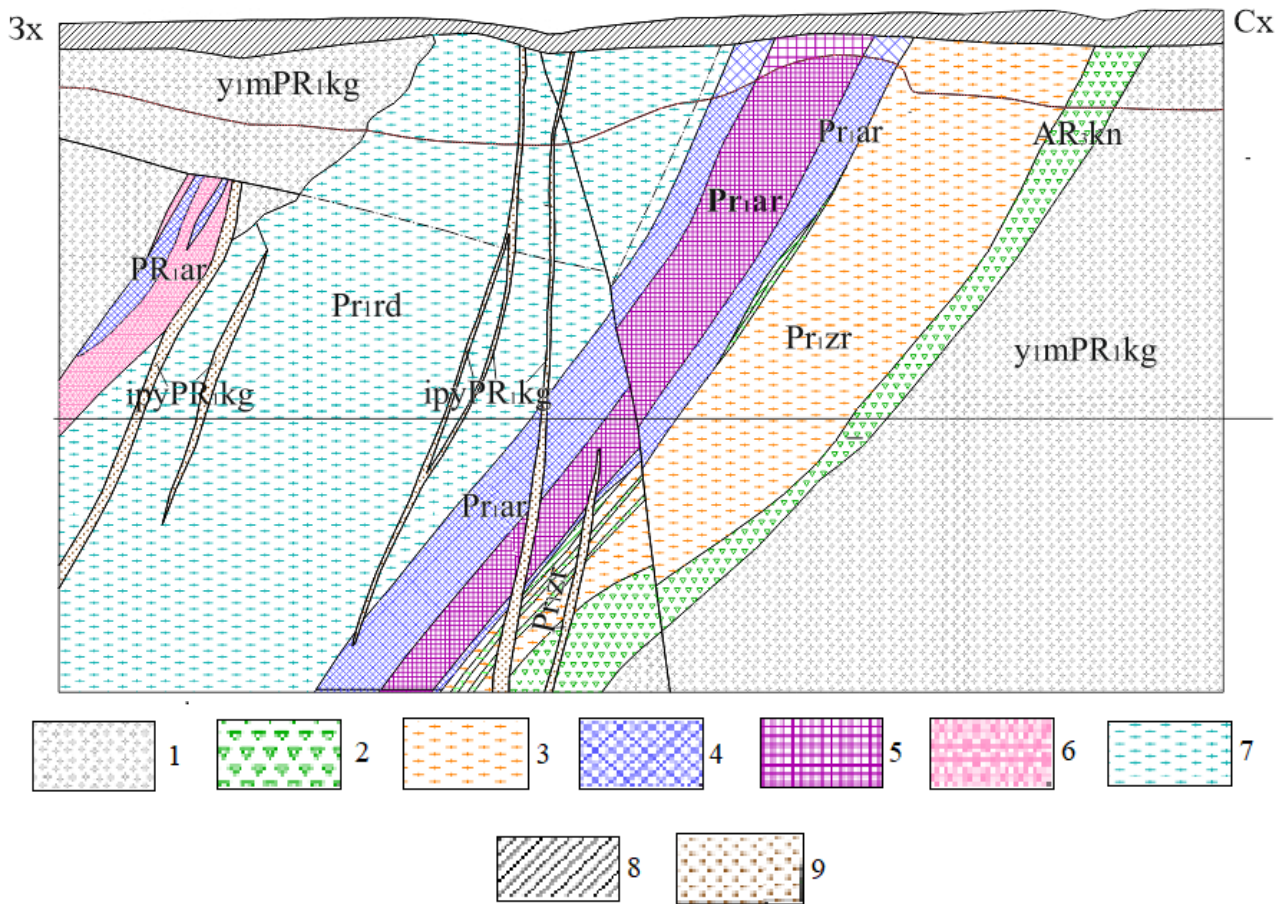


Рис. 1. Геологічний розріз східного крила синклінальної структури Петрівського родовища.

- 1 – мігматити ( $\gamma_1mPR_1kg$ ); 2 – амфіболіти  $AR_{3kn}$ ; 3 – гнейси кварц-біотит-фмфіболові ( $PR_{1zr}$ ); 4 – кварцити магнетитові ( $PR_{1ar}$ ); 5 – кварцити гематит-магнетитові ( $PR_{1ar}$ ); 6 – кварцити амфібол-магнетит-піроксенові з грантом ( $PR_{1ar}$ ); 7 – гнеси кварц-плагіоклаз-біотитові з грантом ( $PR_{1rd}$ ); 8 – кайнозойські відклади; 9 - пегматити ( $ipyPR_1kg$ )

гнейсами. Породи всіх світ перетинають плагіоклаз-біотитові і амфібол-плагіоклаз-біотитові пегматити кіровоградського комплексу. Кристалічні утворення перекриваються породами кайнозойського осадового чохла [4-8].

Петрівське родовище представлено стиснутою синклінальною складкою, направленою замковою частиною на південь і відкритою на північ. Падіння крил західне. Східне крило падає під кутом 45-75°, західне під кутом 60-85°. Будова складки ускладнена повздовжніми і поперечними диз'юнктивними порушеннями, що розбивають структуру на окремі тектонічні блоки [11,12]. Західне крило виклинюється на північ. Східне крило протягається у північному напрямку, має потужність рудного покладу до 50 м і є перспективним для подальшої розробки. Раніше східне крило було досліджене поодинокими свердловинами. Питання мінералогічної варіативності вивчалось головним чином у замковій частині Петрівської синклінали, східне крило не досліджувалось.

Мінералогічна варіативність руд Петрівсько-

го родовища проявлена в напрямку від вміщених порід до центральної частини товщі. Для центральної частини родовища встановлена наступна зміна мінеральних різновидів порід: сланці → сланці і кварцито-сланці з магнетитом → кварцити магнетит-силікатні → кварцити силікат-магнетитові → кварцити магнетитові → кварцити магнетитові з гематитом → кварцити гематит-магнетитові → кварцити магнетит-гематитові → кварцити гематитові з магнетитом [1,10].

Дослідження мінералогічної варіативності руд східної частини Петрівського родовища проводилось за петрохімічними розрахунками, макро- і мікроскопічними дослідженнями, розрахунками модулів окисленості і магнітності. Було досліджено 1526 проб, визначений їх хімічний склад ( $Fe_{магн.}$ ,  $Fe_{заг.}$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ), вибірково зроблені прозорі і поліровані шліфи для дослідження мінерального складу та структурних і текстурних особливостей, зроблені кількісні підрахунки магнетиту в кожному визначеному різновиді руд (об'ємні %) та інші дослідження. За макро- і мік-

роскопічними дослідженнями були виділені різновиди залізистих кварцитів, що складають продуктивну товщу східного крила синклінальної структури родовища: кварцити силікатні з магнетитом, кварцити магнетит-силікатні, кварцити силікат-магнетитові, кварцити магнетитові, кварцити магнетитові з гематитом, кварцити гематит-магнетитові, кварцити магнетит-гематитові, кварцити гематитові з магнетитом. За статистичними підрахунками встановлено, що найбільш розповсюдженим мінеральним різновидом в межах даної області є магнетитові кварцити – близько 44 %, менш розповсюджені кварцити силікат магнетитові – 19 %, кварцити гематитові з магнетитом – 16 %, кварцити гематит-магнетитові – 7-8%, кварцити силікатні з магнетитом, магнетит-силікатні, магнетитові з гематитом та магнетит гематитові – складають від 2,5 до 4,5 %.

Для кожної групи мінеральних різновидів порід в табл.1 наведені мінімальні та максималь-

ні показники вмісту хімічних компонентів. Значення вмісту  $Fe_{заг.}$  та  $Fe_{магн.}$  відповідають округленим середнім значенням цих показників для залізистих порід відповідного мінерального складу. Значення вмісту  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  розраховувались, виходячи із значень вмісту  $Fe_{заг.}$  і  $Fe_{магн.}$ .

Таблиця побудована за даними хімічних аналізів, отриманих при дослідженні свердловин: 2, 5, 7, 9, 12, 12а, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21 східного крила Петрівської синклінали.

За даними кількісних співвідношень породо- і рудоутворюючих мінералів і за даними про їх хімічний склад були визначені значення петрохімічних показників  $M_M$  і  $M_O$  в табл.1 показані кордони їх коливань. У відповідності з отриманими результатами була побудована діаграма  $M_M$ - $M_O$  (рис.2).

На лівій гілці діаграми розмістились відрізки, що відповідають залізистим породам проміжного мінерального складу: I – сланці і кварцито-

Таблиця 1

Середні значення петрохімічних показників залізистих порід різного мінерального складу

№ п/п	Мінеральні різновиди залізистих порід	Значення хімічних параметрів: від (1) – до (2), та середнє їх значення (3)	Хімічні показники, мас. %						Петрохімічні модулі	
			$Fe_{заг.}$	$Fe_{магн.}$	$Fe^{2+}$	$Fe^{3+}$	$FeO$	$Fe_2O_3$	$M_M$	$M_O$
1	Кварцити силікатні з магнетитом	1	8,0	2,4	4,2	2,1	7,6	3,0	0,23	0,11
		2	33,5	12,0	25,3	8,2	32,6	11,69	0,4	0,36
		<b>3</b>	<b>17,8</b>	<b>5,9</b>	<b>13,2</b>	<b>4,6</b>	<b>17,0</b>	<b>6,6</b>	<b>0,31</b>	<b>0,3</b>
2	Кварцит магнетит-силікатний	1	8,2	4,8	6,8	2,9	8,8	4,13	0,41	0,32
		2	34,0	13,8	20,7	13,3	26,7	18,96	0,57	0,49
		<b>3</b>	<b>17,7</b>	<b>9,0</b>	<b>10,9</b>	<b>6,8</b>	<b>14,1</b>	<b>9,67</b>	<b>0,51</b>	<b>0,40</b>
3	Кварцит силікат-магнетитовий	1	11,7	8,8	6,5	6,17	8,4	8,83	0,46	0,43
		2	55,6	41,1	21,1	20,3	27,2	29,03	0,81	0,76
		<b>3</b>	<b>26,1</b>	<b>18,0</b>	<b>12,1</b>	<b>14,0</b>	<b>15,6</b>	<b>20,03</b>	<b>0,68</b>	<b>0,55</b>
4	Кварцит магнетитовий	1	17,4	15,7	5,83	10,07	7,5	14,41	0,81	0,56
		2	40,7	39,6	14,14	27,34	18,2	39,12	0,97	0,73
		<b>3</b>	<b>30,8</b>	<b>27,6</b>	<b>10,88</b>	<b>19,98</b>	<b>14,0</b>	<b>28,58</b>	<b>0,9</b>	<b>0,67</b>
5	Кварцит магнетитовий з гематитом	1	25,4	15,5	6,1	13,5	7,9	19,26	0,69	0,7
		2	38,3	29,0	10,8	28,5	13,9	40,72	0,79	0,77
		<b>3</b>	<b>31,7</b>	<b>23,8</b>	<b>8,9</b>	<b>22,8</b>	<b>11,4</b>	<b>32,65</b>	<b>0,75</b>	<b>0,74</b>
6	Кварцит гематит-магнетитовий	1	20,9	15,2	5,3	14,95	6,8	21,4	0,45	0,59
		2	39,8	26,0	12,12	31,5	15,6	45,04	0,73	0,85
		<b>3</b>	<b>30,89</b>	<b>18,85</b>	<b>7,16</b>	<b>23,73</b>	<b>9,21</b>	<b>33,95</b>	<b>0,61</b>	<b>0,79</b>
7	Кварцит магнетит-гематитовий	1	19,0	5,7	2,5	16,4	3,2	23,4	0,23	0,82
		2	37,3	18,9	6,9	31,5	8,9	45,03	0,54	0,9
		<b>3</b>	<b>31,1</b>	<b>12,1</b>	<b>4,7</b>	<b>26,3</b>	<b>6,1</b>	<b>37,61</b>	<b>0,39</b>	<b>0,86</b>
8	Кварцит гематитовий з магнетитом	1	22,4	1,8	1,09	15,22	1,4	21,78	0,03	0,88
		2	37,7	11,5	4,74	35,76	6,1	51,16	0,33	0,98
		<b>3</b>	<b>30,8</b>	<b>4,6</b>	<b>2,02</b>	<b>28,83</b>	<b>2,6</b>	<b>41,25</b>	<b>0,15</b>	<b>0,9</b>

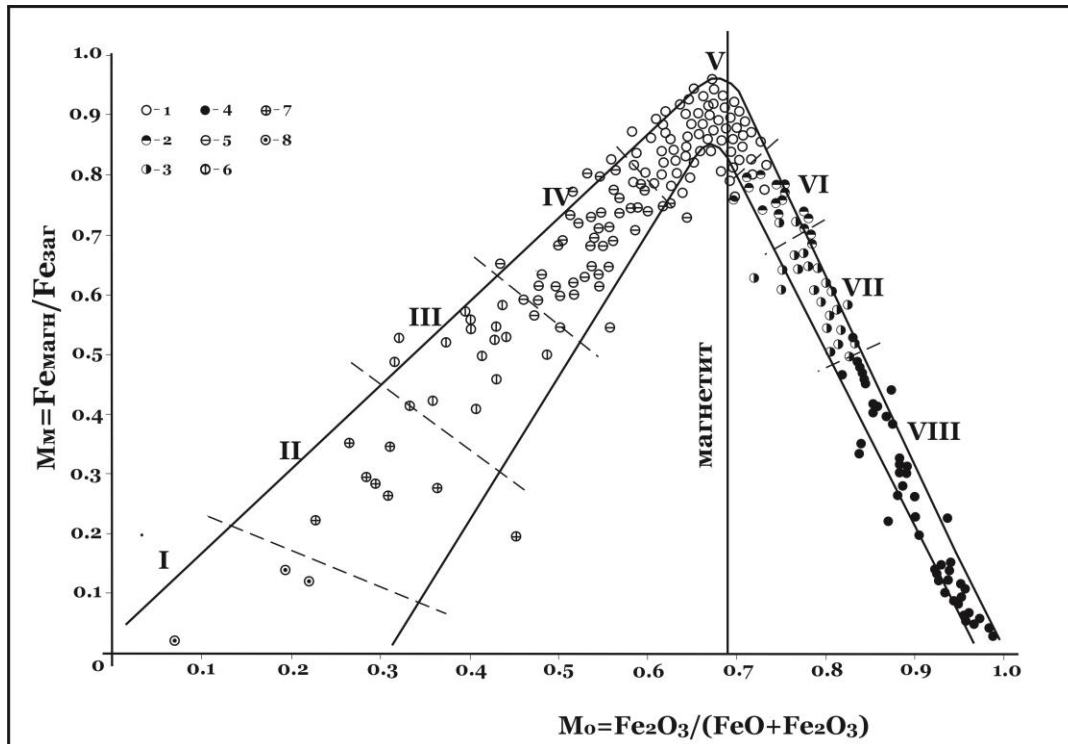


Рис. 2. Поля розповсюдження фігуративних точок укрупнених мінеральних різновидів руд і вміщуючих порід Петровського родовища (східного крила синклінальної структури) в координатах магнетитність-окисленість заліза ( $M_M$ - $M_O$ ) (за даними технологічних випробувань кернах проб):

1 – магнетитові кварцити (V); 2 – кварцити магнетитові з гематитом (VI); 3 – кварцити гематит-магнетитові (VII); 4 – кварцити магнетит-гематитові і гематитові з магнетитом (VIII); 5 – кварцити силікат-магнетитові (IV); 6 – кварцити магнетит-силікатні (III); 7 – кварцити силікатні з магнетитом (II); 8 – кварцитосланці, сланці, гнейси, скарноїди (I)

сланці (зелено сланцева фація метаморфізму); II – кварцити силікатні з магнетитом; III – кварцити магнетит-силікатні; IV – кварцити силікат-магнетитові (епідот-амфіболітова фація метаморфізму). Таким чином в напрямку від області I до області V в складі залізистих порід збільшується вміст магнетиту і зменшується вміст силікатів. Силікати в залізистих кварцитах представлені кумінгтонітом, синьо-зеленою роговою обманкою, біотитом. Також в цьому напрямку незначно збільшується вміст головного породотворюючого мінералу залізистих кварцитів – кварцу.

На правій гілці діаграми  $M_M$ - $M_O$  виділені відрізки VI, VII, VIII, котрі відповідають магнетитовим з гематитом, гематит-магнетитовим, магнетит-гематитовим і гематитовим з магнетитом кварцитам. Таким чином від області V до області VIII в складі порід збільшується вміст залізної слюдки (гематиту) і, відповідно, зменшується вміст магнетиту. Кількість же кварцу в цьому ряді значно зменшується.

Також при нанесенні на діаграму фігуративних точок усіх різновидів залізистих порід виявляється постійне зміщення їх в напрямку від ліній діаграми до центру трикутника, утвореного двома гілками діаграми і віссю абсцис. Практич-

но ні одна з фігуративних точок не лежить на гілках діаграми. Лінії трендів варіативності складу метаморфічних і метасоматичних залізистих порід також розміщені всередині трикутника. Висновки попередніх дослідників дали змогу зрозуміти, що основною причиною зміщення фігуративних точок являється нестехіометричність хімічного складу породотворюючих мінералів [13]. Точки, які лежать над гілками діаграми являються наслідком похибки хімічних аналізів.

Мінливість мінерального складу залізистих порід родовища тісно пов'язана з закономірностями варіацій їх хімічного складу [1]. На рисунку 2 показаний характер змінення вмісту в залізистих породах продуктивної товщі мінералогічних компонентів, таких як  $Fe_{заг}$ ,  $Fe_{магн}$ , а також сірки (S) (дані з табл.1).

Вміст заліза загального закономірно знижується від кварцитів гематитових з магнетитом і магнетит-гематитових, котрі залягають в центральних частинах залізистого горизонту, до магнетит-силікатних силікатних з магнетитом, які складають його периферійні частини.

На кривій зміни вмісту заліза, що входить до складу магнетиту, спостерігається чіткий максимум, який відповідає магнетитовим кварци-



там. В напрямку силікатної та гематитової гілок вміст  $Fe_{\text{маг}}$  різко знижується з 26-28 мас.% до 5-6 мас.%. Це пов'язано з фазовим переходом в гематитову і силікатну форми.

Вміст сірки дуже незначно збільшується в напрямку від гематитових різновидів до силікатних, проте пік приходить на перехідну зону від магнетитових кварцитів до силікат-магнетитових і магнетит-силікатних. Це вказує на локалізацію найбільш потужних сульфідних проявів.

Чітке чергування мінеральних різновидів порід у відповідності з наведеною вище схемою

(рис. 3) часто порушується в зв'язку з накладенням на аутигенно-мінералогічну зональність метасоматичної, обумовленої формуванням по залізистим кварцитам тіл рибекітових і егіринових метасоматитів [14]. Прояв натрієвого метасоматозу, ступінь неоднорідності мінеральної речовини в межах зональних метасоматитових тіл, характер накладення одна на одну зональностей обох видів обумовлюють неоднорідність складу продуктивної товщі східного крила Петрівської синкліналі.

Формування мінералого-геохімічних мета-

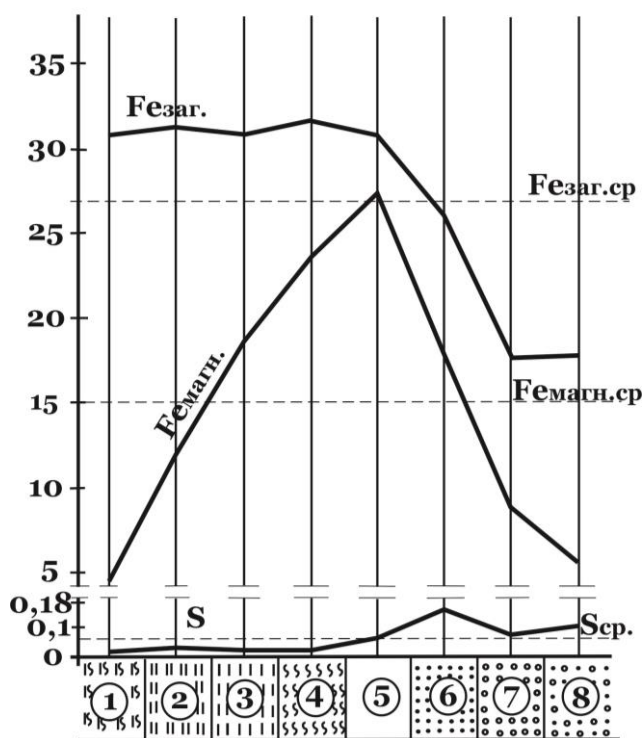


Рис. 3. Зміна вмісту  $Fe_{\text{заг.}}$ ,  $Fe_{\text{магн.}}$  та сірки (S) від центральних частин до периферії продуктивної товщі Петрівського родовища. Мінеральні різновиди руд: 1 – кварцит гематитовий з магнетитом, 2 – кварцит магнетит-гематитовий; 3 – кварцит гематит-магнетитовий; 4 – кварцит магнетитовий з гематитом; 5 – магнетитовий кварцит; 6 – кварцит силікат-магнетитовий; 7 – кварцит магнетит-силікатний; 8 – кварцит силікатний з магнетитом

соматичних систем відбувалось за принципом фільтраційного ефекту Д.С. Коржинського [1,18].

Натрієві метасоматити найбільш тісно пов'язані з магнетитовими та гематит-магнетитовими кварцитами. В процесі натрієвого метасоматозу магнетитові кварцити підлягали процесам егіринізації, рибекітизації та окварцювання. В межах східного крила Петрівської синклінальної структури для тіл натрієвих метасоматитів в більшості випадків характерна метасоматична зональність. А саме, від центру до периферії тіл, відмічається наступна зміна метасоматичних зон: зона егіринізації → зона рибекітизації → зона окварцювання. Магнетит, як поазали мікроскопічні дослідження, в зв'язку з натрієвим ме-

тасоматозом піддавався різноманітним впливам. Так, в зонах егіринізації та окварцювання відбувається зменшення зменшення індивідів та агрегатів магнетиту та утворення тісних зростків і проростань кристалів магнетиту з силікатами та кварцем. В процесі рибекітизації, напроти, відбувається перекристалізація магнетиту з укрупненням його індивідів та агрегатів, та з поліпшенням його кристалографічних абрисів.

В гематит-магнетитових кварцитах процеси натрієвого метасоматозу проходили більш активно, ніж магнетитових, проте характер змін складу та структури гематит-магнетитових кварцитів при натрієвому метасоматозі аналогічний тому, що спостерігається в магнетитових кварцитах.

**Висновки.** За результатами виконаних петрохімічних досліджень залізистих кварцитів продуктивної товщі східного крила Петрівської синклінали, в тому числі за допомогою діаграми  $M_M-M_O$ , можна зробити наступні висновки.

З використанням діаграми  $M_M-M_O$  можна з високою точністю охарактеризувати особливості зональної будови залізородних товщ, розповсюдженість мінеральних різновидів залізистих кварцитів і сланців у їх розрізах, а з нанесенням додаткової інформації – характер варіативності фізичних, технічних параметрів залізних руд і вміщуючих залізистих порід, їх збагачуваності та інших характеристик.

В ході петрохімічних досліджень продуктивної товщі східного крила Петрівської синклінали за допомогою модулів магнітності і окисленості було виділено 8 різновидів залізистих кварцитів: кварцити силікатні з магнетитом, кварцит магнетит-силікатний, кварцит силікат-магнетитовий, кварцит магнетитовий, кварцит магнетитовий з

гематитом, кварцит гематит-магнетитовий, кварцит магнетит-гематитовий, кварцит гематитовий з магнетитом.

Встановлена чітка зональна будова продуктивної товщі родовища в напрямку від центральних частин до периферії продуктивної товщі досліджуваного району, починаючи від гематитових кварцитів з магнетитом в центрі до силікатних з магнетитом кварцитів на периферії. Проте ця зональність порушується за рахунок накладених процесів натрієвого метасоматозу.

Слід також зазначити, що для ряду випадків віднесення залізистих кварцитів до гематит-магнетитових і магнетит-гематитових на основі результатів фазового аналізу може призводити до неточностей. Оскільки більша частина окисного заліза, що входить до складу егірину, рибекіту та інших ферросилікатів, може включатися в залізо, пов'язане з гематитом, в зв'язку з чим помітно підвищується останній показник.

#### Література

1. Евтехов В.Д. Изменчивость минерального состава продуктивной толщи Петровского месторождения / В.Д. Евтехов, Д.М. Меньшиков // Геолого-минералогический вестник. – 1999. – №1. – С. 41-43.
2. Евтехов В.Д. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / В.Д. Евтехов, Г.П. Зарайский, В.Н. Балашов, О.К. Валеев // Очерки физико-химической петрологии – Москва: Наука, 1988. – №15. – С. 17-37.
3. Государственная геологическая карта Украины. Масштаб 1:50000. Криворожский горнорудный район. Объяснительная записка / Паранько И.С., Бутырин В.К., Змиевский Г.Е. и др. – Киев: ЦТЭ Госкомгеологии Украины, 1992. – 220 с.
4. Блоха И.В. Предварительная оценка комплексной минерально-сырьевой базы Петровского месторождения железистых кварцитов // Геолого-минералогический вестник – 1999. – №1. – С. 68-71.
5. Блоха В.Д. Виробничий і колекційний камінь Петрівського і Артємівського родовищ Криворізького басейну / В.Д. Блоха, О.О. Орищенко // Геолого-минералогический вестник Криворізького національного університету. – 2015. – №2(34). – С. 99-103.
6. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Метаморфизм / Р.Я. Белевцев, О.Я. Беляев, В.В. Ветринцев и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 148 с.
7. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Минералогия / Б.И. Пирогов, Ю.М. Стебновская, В.Д. Евтехов и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
8. Плаксенко Н.А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии (на примере Курской магнитной аномалии) / Н.А. Плаксенко. – Воронеж: Изд. Воронежского госуниверситета, 1966. – 264 с.
9. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза / Н.М. Страхов. – Москва: Изд. АН СССР, 1962. – Т.2 – 574 с.
10. Ходюш Л.Я. Аутигенно-минералогическая зональность как один из критериев расчленения и сопоставления железорудных толщ в железисто-кремнистых формациях докембрия (на примере Белозерского железорудного района) / Л.Я. Ходюш // Проблемы изучения геологии докембрия. – Ленинград: Наука, 1967. – С. 243-249.
11. Залізородні родовища докембрію України і їх прогностична оцінка / Я.Н. Белевцев, Ю.М. Спатко, М.І. Веригін, Ю.С. Лебедєв, С.І. Малютін. – Київ: Наукова думка, 1981. – 230с.
12. Белевцев Я.Н. Залізисто-кремністі формації докембрію Європейської частини СРСР / Я.Н. Белевцев. – Київ: Наукова думка, 1989. – 148с.
13. Евтехов В.Д. Использование петрохимической диаграммы  $M_M-M_O$  при изучении аутигенной зональности железисто-кремнистой формации докембрия / В.Д. Евтехов, С.В. Карпенко, А.В. Евтехова // Геолого-минералогический вестник. – 2007. – №2 (18). – С. 30-44.
14. Евтехов В.Д. Минералогические особенности метасоматических изменений железистых кварцитов Северного Криворожья (на примере Первомайского месторождения) : автореф. канд. дис. / В.Д. Евтехов; [Львовский госуниверситет]. – Львов., 1978. – 25 с.
15. Технологическая минералогия железистых руд / Пирогов Б.И., Г.С. Поротов, И.В. Холошин, В.Н. Тарасенко. – Ленинград: Наука, 1988. – 304 с.

16. Чубанов В.А. Идентификация минеральных разновидностей и технологических сортов руд Кривбасса / В.А. Чубанов, В.Д. Евтехов // Горный журнал. – 1996. – №11-12. – С. 14-17.
17. Минералогия Криворожского бассейна / Е.К. Лазаренко, Ю.Г. Гершойг, Н.И. Бучинская и др. – Киев: Наукова думка, 1977. – 544 с.
18. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов / Д.С. Коржинский // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. – Москва: Изд. АН СССР, 1955. – С. 335-456.
19. Снежко А.М. Физико-химическая характеристика процессов концентрации благородных металлов в графит-содержащих породах Петровского месторождения / А.М. Снежко, С.И. Терещенко, А.А. Юшин // Геолого-мінералогічний вісник. – 2003. – № 2 – С. 67-69.
20. Плотников О.В. Правобережний район Українського щита – найперспективніша залізорудна мінерально-сировинна база України для якісної металургії / О.В. Плотников // Мінеральні ресурси України. – 2002. – №1. – С 16-20.

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

UDK 549:553.31(477.65)

**Viacheslav Valeriyovich Stetsenko,**

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Geology and Applied Mineralogy,  
Kryvyi Rih National University, 11 Vitaliy Matushevych St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine,  
e-mail: [stesenko-74@mail.ru](mailto:stesenko-74@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>;

**Valeriya Valeriyovna Zaichenko,**

PhD Student, Department of Geology and Applied Mineralogy,  
Faculty of Geology and Ecology, Kryvyi Rih National University,  
e-mail: [koshkareva0427@gmail.com](mailto:koshkareva0427@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1780-899X>

#### STUDY OF MINERALOGICAL VARIABILITY OF FERRUGINOUS QUARTZITES OF PRODUCTIVE STRATA OF THE EASTERN WING OF THE PETROVSKY SYNCLINAL FOLD WITH USING DIAGRAM $M_M$ - $M_O$

**Relevance of the problem.** Petrovsky deposit is promising area for the extraction of magnetite ores. Detailed research on this deposit was carried out in the 80 years of the last century, but with the deepening and expansion of the pit data from previous studies have lost their relevance. In 2016-2018 years, in the north-eastern part of the deposit, an in-mine exploration in the direction of the eastern wing of the Petrovsky synclinal fold was carried out.

**Analysis of previous research.** Petrovsky deposit of ferruginous quartzites is located in the remote southwestern part of the area of the Right Bank magnetic anomalies. Two groups of rocks were defined in the geological structure of the deposit: the crystalline rocks of the Precambrian base and the loose Cenozoic deposits that were on the top of them. Rocks of the Precambrian Age are highly metamorphosed and dislocated ones of the crystalline base and are represented by Archean and Lower Proterozoic formations. Lower Proterozoic formations are represented by the Ingul-Ingulets series which is divided by the (bottom up): zelenorichenska, artemivska, radionivska suites. The Artemivska suite is productive in the territory under investigation.

In the structural plan, the Petrovskiy deposit is a compressed synclinal fold, the western wing of which is taper out, and the eastern wing extends in the northern direction. In connection with this, the object of research was the eastern wing.

**Purpose and tasks of research.** The main purpose of the study was identification of the mineralogical variability of ferruginous quartzites, the allocation of mineralogical varieties of ores according to their chemical composition and to determine the regularities of expanding of these varieties within the productive strata of the eastern wing. These tasks were resolved using chemical analysis of rocks data, calculation of magnetic module  $M_M$  and oxidation module  $M_O$ , and the construction of a diagram in the coordinates of magnetization-oxidation of iron ( $M_M$ - $M_O$ ).

**Presentation of the main material of the article.** Within the eastern wing of the Petrovsky synclinal fold, the eight mineralogical varieties of the ore were identified: silicate quartzites with magnetite, silicate-magnetite quartzites, magnetite-silicate quartzites, magnetite quartzites with hematite, hematite-magnetite quartzites, magnetite-hematite quartzites, hematite quartzites with magnetite. In the boundaries of the work area of a regular change of varieties of ores from hematite quartzites with magnetite in the central parts to silicate quartzites with magnetite on the periphery was established. In the same direction the regularities of

changing the content of  $Fe_{tot}$ ,  $Fe_{magn}$ , and sulfur (S) were elaborated. However, the authigenic-mineralogical zonation of the productive strata of the eastern wing of the syncline structure of the deposit was disturbed as a result of the overprint of metasomatic processes caused by the formation of bodies of aegirine and rebekitic metasomatites on the basis of ferruginous quartzites was established.

**Keywords:** Petrovsky deposit, lean magnetite ores, ferruginous quartzites, mineralogical variability,  $M_M$ - $M_O$  diagram, petrochemical indices.

#### References

1. Evtexhov V., Menshekov D. (1999). Variability of the mineral composition of the productive strata of the Petrovsky deposit. *Geological-mineralogical journal*, 1, 41-43.
2. Evtexhov V., Zharaiskii G., Balashov V., Valeev O. (1988). Zonation of sodium metasomatites in ferruginous quartzites of the Northern Kryvyi Rih. *Essays of physico-chemical petrology*, 15, 17-37.
3. Paranko I., Butyrin V., Zmievisky G. (1992). *State Geological Map of Ukraine. Scale 1: 50000. Krivoy Rog mining district. Explanatory note.* Kiev: TsTE Goskomgeologii Ukrainy.
4. Blokha I. (1999). Preliminary assessment of the complex mineral and raw material base of the Petrovsky deposit of ferruginous quartzites. *Geological-mineralogical journal*, 1, 68-71.
5. Blokha V., Orishchenko O. (2015). Decorative and collector stone of the Petrovsky and Artemivsky deposits of the Kryvyi Rih basin. *The Geological and Mineralogical journal of Krivoy Rog National University*, 2 (34), 99-103.
6. Belevtsev R., Belyaev O., Vetrinkets V., and others. (1989). *The ferruginous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Metamorphism.* Kiev: Naukova Dumka.
7. Pirogov B., Stebnovskaya Yu., Evtexhov V., and others. (1989). *The iron-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Mineralogy.* Kiev: Naukova Dumka.
8. Plaksenko N. (1966). *The main regularities of iron ore sedimentation in the Precambrian (on the example of the Kursk magnetic anomaly).* Voronezh: Voronezh State University.
9. Strakhov N. (1962). *Fundamentals of the theory of lithogenesis.* Moscow: Izd. AN SSSR.
10. Khodyush L. (1967). Authigenic-mineralogical zonation as one of the criteria for the dismemberment and comparison of iron ore strata in the ferruginous-siliceous formations of the Precambrian (on the example of the Belozersky iron ore region). *Problems of studying Precambrian geology*, 243-249.
11. Belevtsev Ya., Yipatko Yu., Verigin M., Lebedev Yu., Malyutin Ye. (1981). *Iron-ore deposits of the Precambrian of Ukraine and their predictive estimation.* Kyiv: Naukova Dumka.
12. Belevtsev Ya. (1989). *Iron-siliceous Precambrian formations of the European part of the USSR.* Kiev: Naukova dumka.
13. Evtexhov V., Karpenko S., Evtekhova A. (2007). Use of the petrochemistry diagram of  $M_M$ - $M_O$  in the study of the autogenic zonation of the glandular-siliceous Precambrian formation. *Geological-Mineralogical journal*, 2 (18), 30-44.
14. Evtexhov V. (1978). *Mineralogical peculiarities of metasomatic changes of ferruginous quartzites in the northern region of Kryvyi Rih (on the example of Pervomaysky deposit).* Author's abstract. Cand. Dis. Lviv: Lviv State University.
15. Pirogov B., Porotov G., Kholoshin I., Tarasenko V. (1988). *Technological mineralogy of iron ores.* Leningrad: Nauka.
16. Chubanov V., Evtexhov V. (1996). Identification of mineral varieties and technological grades of Kryvbas ores. *Mining journal*, 11-12, 14-17.
17. Lazarenko E., Gershoig Yu., Buchinskaya N., and others (1977). *Mineralogy of the Krivoy Rog basin.* Kiev: Naukova Dumka.
18. Korzhinsky D. (1955). *Essay on metasomatic processes. Main problems in the study of magmatic ore deposits.* Moscow: Izd. AN SSSR.
19. Snezhko A., Tereshchenko S., Yushin A. (2003). Physico-chemical characteristics of processes of noble metals concentration in graphite-bearing rocks of the Petrovsky deposit. *Geological-mineralogical journal*, 2, 67-69.
20. Plotnikov O. (2002). Right Bank district of the Ukrainian shield - our most prospective mineral-ore base for metallurgy. *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 16-20.

УДК 622.276.64; 622.245.54

**Фик Ілля Михайлович,**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, м. Харків, 61000, Україна, e-mail: [mfyk@yandex.ua](mailto:mfyk@yandex.ua), <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>;

**Фик Михайло Ілліч,**

кандидат технічних наук, доцент, кафедра видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: [mfyk@ukr.net](mailto:mfyk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-5154-6001>;

**Фик Ілля Михайлович,**

викладач, кафедра видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: [fykiliya107@gmail.com](mailto:fykiliya107@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0479-7814>

## ПЕРСПЕКТИВИ ДОВГОСТРОКОВОЇ РОЗРОБКИ ШЕБЕЛИНСЬКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАПАСІВ

*Робота спрямована на дослідження перспектив збільшення та стабілізації видобутку газу в Україні на виснажених родовищах за рахунок відновлених процесів щодо запасів газу. У статті розглядаються та аналізуються основні результати розробки Шебелинського ГКР з точки зору його обводнення та можливого відновлення запасів газу в покладах, що розробляються, за рахунок перетоків газу з глибоких горизонтів. Детально розглянуті всі чинники, які впливають на пластовий тиск в процесі розробки покладів. В роботі представлено аналіз водонапірної системи родовища, проведено розрахунок запасу законтурної води (замкнutoї водонапірної системи), досліджено динаміку обводнення (вторгнення води в газові поклади) родовища та роль капілярних сил у сповільненні просування водного фронту. Показано, що обводнення практично не впливає на газовий режим розробки, а темпи зниження пластового тиску уповільнюється як під впливом відомих чинників, так і за рахунок перетоків газу по диз'юнктивних тектонічних порушеннях, особливо в центральній частині родовища. Обґрунтовано, що при зниженні річного видобутку газу до 1800–1900 млн. м<sup>3</sup> він буде повністю компенсований перетоками. Наведений графічний прогноз видобутку газу до 2040 р. за варіантами без компресорної і компресорної експлуатації з 2019 р. з урахуванням відновлення запасів. Розраховано, що за умови введення на Шебелинському ГКР запланованої нової компресорної станції, річний видобуток газу в період 2020–2040 рр. буде зберігатися на рівні 2,4–2,1 млрд. м<sup>3</sup>, а додатковий видобуток газу за період 2019–2036 рр. складе 6,5 млрд. м<sup>3</sup>.*

*Об'єктом дослідження є Шебелинське газоконденсатне родовище. Видобуток газу та процеси підтримання пластового тиску, в тому числі за рахунок перетоків газу з глибинних горизонтів по тектонічних порушеннях.*

*Предметом дослідження є аналіз та прогноз видобутку газу на перспективу за різними варіантами розробки, як компресорної так і без компресорної експлуатації родовища з урахуванням підтримання пластового тиску за рахунок відновлення запасів.*

**Ключові слова:** газ, родовище, видобуток, запаси, обводнення.

**И. М. Фык, М. И. Фык, И. М. Фык. ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОСРОЧНОЙ РАЗРАБОТКИ ШЕБЕЛИНСКОГО ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАПАСОВ.** Работа направлена на изучение, перспектив увеличения и стабилизации добычи газа в Украине на истощенных месторождениях за счет восстановительных процессов по запасам газа. В статье рассматриваются и анализируются основные результаты разработки Шебелинского ГКМ с точки зрения его обводнения и возможного восстановления запасов газа в залежах, которые разрабатываются, за счет перетоков газа из глубоких горизонтов. Подробно рассмотрены все факторы, которые влияют на пластовое давление в процессе разработки залежей. В работе представлен анализ водонапорной системы месторождения, проведен расчет запаса законтурной воды (замкнутой водонапорной системы), исследована динамика обводнения (вторжение воды в газовые залежи) месторождения и роль капиллярных сил в замедлении продвижения водяного фронта. Показано, что обводнение практически не влияет на газовый режим разработки, а темпы снижения пластового давления замедляется как под влиянием известных факторов, так и за счет перетоков газа по дизъюнктивных тектонических нарушениях, особенно в центральной части месторождения. Обосновано, что при снижении годовой добычи газа в 1800-1900 млн. м<sup>3</sup> он будет полностью компенсирован перетоками. Приведенный графический прогноз добычи газа к 2040 году по вариантам без компресорной и компресорной эксплуатации с 2019 года с учетом восстановления запасов. Рассчитано, что при условии введения на Шебелинском ГКМ запланованной новой компресорной станции, годовая добыча газа в период 2020-2040 годов будет сохраняться на уровне 2,4 - 2,1 млрд. м<sup>3</sup>, а дополнительная добыча газа за период 2019-2036 составит 6,5 млрд. м<sup>3</sup>

*Объектом исследования является Шебелинское газоконденсатное месторождение. Добыча газа и процессы поддержания пластового давления, в том числе за счет перетоков газа из глубинных горизонтов по тектоническим нарушениям.*

*Предметом исследования является анализ и прогноз добычи газа на перспективу по различным вариантам разработки, как компресорной, так и без компресорной эксплуатации месторождения с учетом поддержания пластового давления за счет восстановления запасов.*

**Ключевые слова:** газ, месторождение, добыча, запасы, обводнение.

**Аналіз попередніх досліджень.** Стабілізація видобутку газу на виснажених газоконденса-

тних родовищах України є надзвичайно актуальною, позаяк на облаштованих (з готовою інфра-



структурою) родовищах продовження їх експлуатації значно знижує собівартість видобутку порівняно з введенням в розробку нових родовищ.

Стабілізація видобутку газу на виснажених родовищах може досягатися наступними шляхами:

- бурінням нових свердловин в слабкодренованих зонах;
- зарізка бокових стволів;
- введення в розробку пропущених газоконденсатних покладів;
- пониження робочих тисків свердловин за рахунок введення додаткових компресорних станцій;
- інтенсифікацією видобутку та інші.

Наведені способи збільшення видобутку газу ґрунтуються на наявних в покладах запасах і, як правило, не пов'язані з можливістю їх збільшення або відновлення.

Однак, останнім часом в опублікованих дослідженнях все частіше наводяться обґрунтування можливості відновлення запасів на старих виснажених газоконденсатних родовищах за рахунок перетоків газу з глибоких горизонтів [1,2,3,4,5,6]

В роботі [7] показано, що джерелами походження і шляхами міграції вуглеводнів на Ромашківському родовищі були тектонічні порушення і 80% вуглеводнів в покладах мають неорганічне (глибинне) походження.

В роботі Рудька О. І., Бондаря В. І. Ловинюков В.І та інших [8] наведені матеріали сучасних концепцій формування вуглеводневих покладів, в основі яких покладено такий основний чинник як дегазація Землі.

В роботі [9] академік Лукін О. Ю. висловив думку, що глибокозалеглі газоконденсатні родовища перебувають в процесі постійного формування, причому в такому темпі, який зіставляється з темпами інтенсивного видобутку газу.

Виходячи із вищенаведеного, можна припустити, що ймовірними територіями дегазації Землі можуть бути нафтогазоконденсатні родовища, а їх виснаження зумовлює збільшення градієнтів тисків між покладами, з пониженими пластивими тисками та глибокими горизонтами.

Враховуючи актуальність проблеми відновлення запасів виснажених газоконденсатних родовищ України, в ході роботи авторами проведено дослідження відновлення запасів газу на Шебелинському газоконденсатному родовищі та на їх основі обґрунтовано можливість довгострокової експлуатації родовищ.

#### **Загальні відомості про родовище.**

Шебелинське газоконденсатне родовище (ШГКР) відкрито у 1950 році та введено у промислову розробку в 1959 році.

На рис. 1 наведено структурну карту 60-х років (за Вороним Е. Е.) та сучасну структурну карту ГПУ Шебелинкагазвидобування.

Родовище приурочене до крупної брахіантуклінальної складки висотою 1160 м, є масивно-пластовим покладом з численними тектонічними порушеннями, єдиним початковим газоводяним контактом на абсолютній позначці -2270 м, площею газонасиченості 246 км<sup>2</sup>, початковим і поточним пластивими тисками 23,8 МПа і 2,08 МПа, відповідно [2,3].

Характерною геолого-промисловою особливістю ГКР є широкий діапазон змін колекторських властивостей газонасичених порід за площею і розрізом (проникність коливається від 0,1 до 100 мД), що зумовлює нерівномірність відпрацювання покладу за пластивим тиском і за дебітом свердловин в просторі і в часі. Середній коефіцієнт пористості колекторів складає 0,13, середній коефіцієнт газонасиченості – 0,5 [2].

Значну увагу при розробці ШГКР приділяли стану обводнення, водночас в ході експлуатації Шебелинського ГКР активного обводнення свердловин не спостерігали і прогнози УкрНДІгазу щодо газового режиму його розробки, в цілому, підтвердилися [3].

З метою введення поправки на обводнення при підрахунку запасів Шебелинського ГКР за методом падіння пластивого тиску було об'ємним методом підраховано об'єм пластивих вод, що вторглися в газонасичені поклади [10].

На рис. 2 показано розташування обводнених зон Шебелинського родовища по горизонтах М2 – А4, а в таблиці 1 наведено параметри цих зон, в тому числі площі та об'єми обводнення в періоди 1989 і 2016 років, з яких випливає, що обводнення, в основному, сконцентровано в центральній частині родовища по гор. А-4, та в південно-східній частині по гор. М-3 [10].

Із таблиці 1 видно, що максимальне обводнення горизонтів спостерігається в 1989 році по гор. М<sub>3</sub> – 11,5 млн.м<sup>3</sup> та по гор. А<sub>4</sub> – 10,3 млн.м<sup>3</sup> води, а в 2016 році об'єм обводнення зріс по гор. М<sub>3</sub> до 12,5 млн.м<sup>3</sup> води, а по гор. А<sub>4</sub> до 11,65 млн.м<sup>3</sup> [2,11]. Мінімальне обводнення спостерігається в горизонтах М<sub>5</sub>, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>5</sub> : 0,32-0,96 млн.м<sup>3</sup> води. Якщо сумарний об'єм обводнення горизонтів в 1989 році складав 40,6 млн.м<sup>3</sup> води, то станом на 2009 рік оцінюється в об'ємі 80 млн.м<sup>3</sup>, при цьому середній пластивий тиск знизився з 12,0 до 2,5 МПа. Станом на 2016 рік при зниженні пластивого тиску до 2,08 МПа об'єм обводнення в цілому виріс до 90 млн.м<sup>3</sup> води, тобто на 10 млн.м<sup>3</sup> [11].

Результати обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського ГКР узагальнено в таблиці 2.

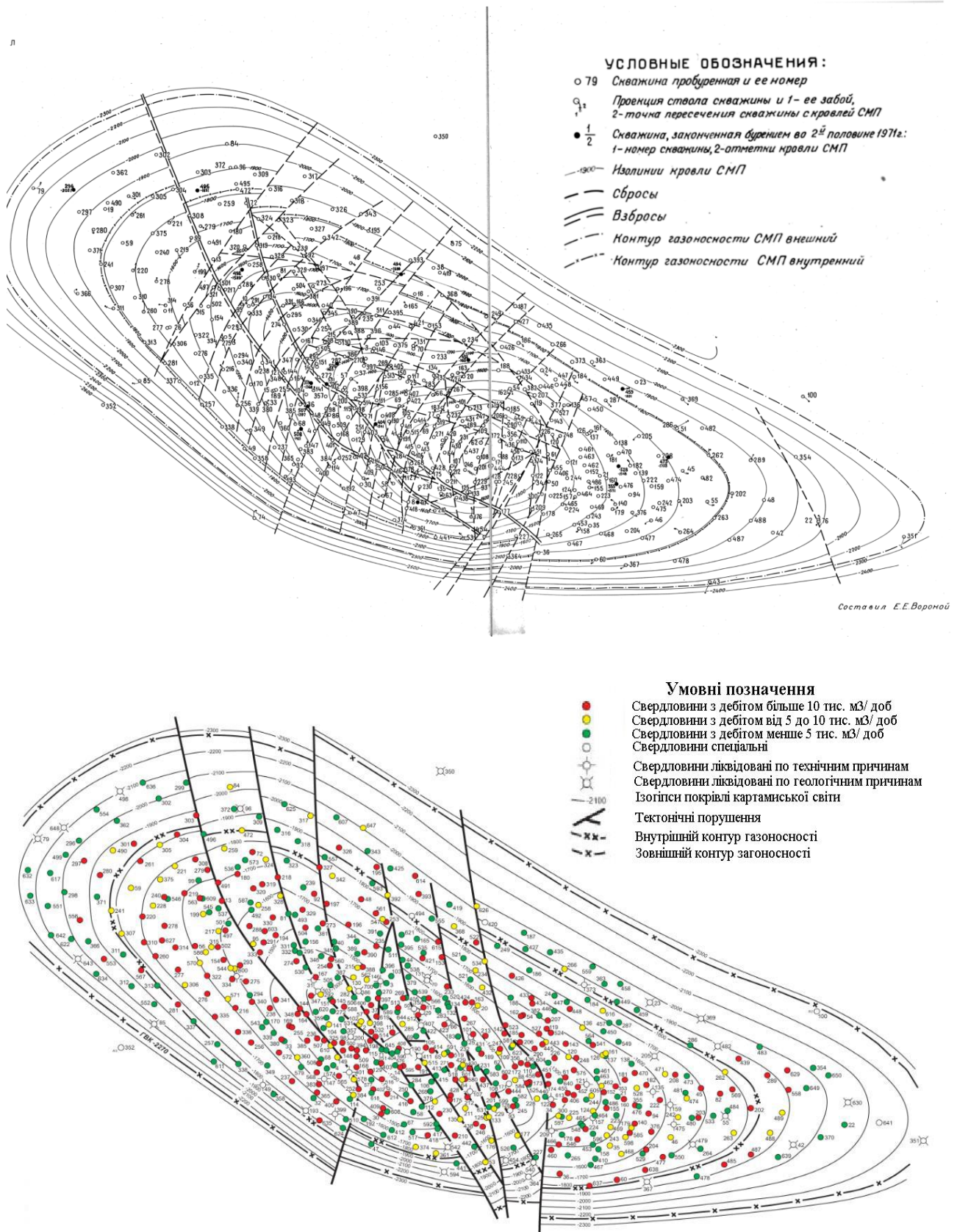


Рис. 1. Структурні карти горизонту СМП Шебелинського ГКР: верхня – автор Вороной Е.Е., УкрНДІгаз 60 роки, нижня – сучасна структурна карта ГПУ Шебелинкагазвидобування

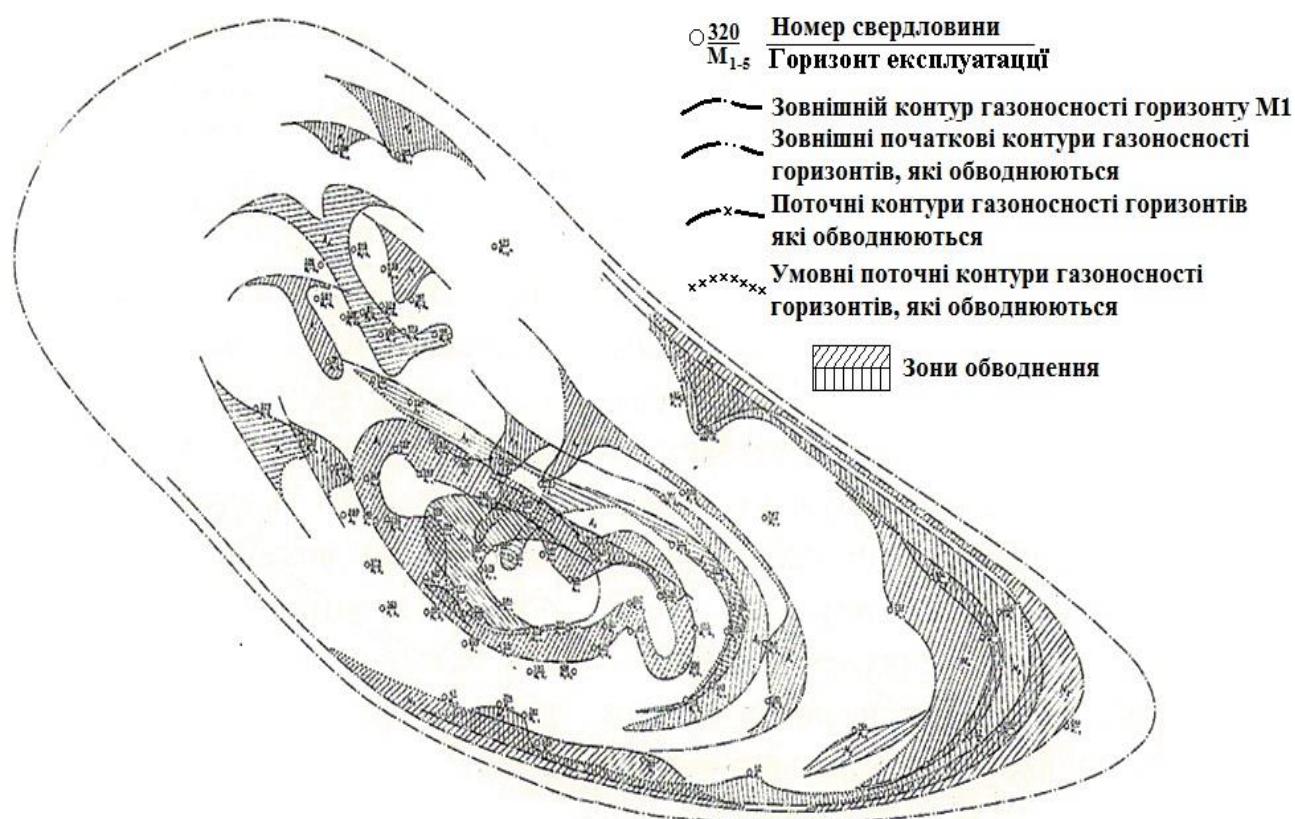


Рис. 2. Карта-схема обводнення продуктивних горизонтів ШГКР

Таблиця 1

Характеристики обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського ГКР в умовах обводнення

Горизонт	Ефективна товщина, м	Коефіцієнт пористості	Коефіцієнт початкової газонасиченості	Коефіцієнт залишкової газонасиченості зон обводнення	Площа обводнення, 10 <sup>6</sup> м <sup>2</sup>		Об'єм обводнення, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	
					1989 р	2016р*	1989 р	2016р*
M <sub>2</sub>	2,0-14,0	0,10-0,14	0,30-0,62	0,11-0,30	12,15	13,15	4,48	5,48
M <sub>3</sub>	1,6-16,3	0,09-0,24	0,50-0,70	0,19-0,52	13,06	14,06	11,5	12,5
M <sub>4</sub>	6,4-8,8	0,1	0,5	0,36	7,94	8,94	0,96	1,35
M <sub>5</sub>	4,0-6,5	0,13	0,55	0,35-0,37	1,37	1,97	0,17	0,35
A <sub>0</sub>	10,4-19,2	0,18-0,22	0,70-0,83	0,60-0,63	5,94	6,94	2,5	3,2
A <sub>1</sub>	1,0-5,0	0,12-0,16	0,55-0,62	0,21-0,45	4,72	5,72	0,6	1,19
A <sub>2</sub>	3,8-6,8	0,09-0,12	0,38-0,57	0,18-0,25	4,14	4,61	0,56	0,96
A <sub>3</sub>	9,0-16,0	0,12-0,23	0,54-0,88	0,30-0,38	4,81	5,71	2,73	3,53
A <sub>4</sub>	3,2-23,0	0,12-0,22	0,55-0,78	0,23-0,54	4,76	5,57	10,25	11,65
A <sub>5</sub>	3,2-10,0	0,10-0,16	0,42-0,62	0,17-0,35	1,62	2,43	0,31	0,72
A <sub>6</sub>	30	0,26	0,89	0,63	2,75	3,87	5,58	6,79

Нижче наведено статистичні залежності об'ємів обводнення від часу ( $Q_{обв}(t)$ ), а також

залежність об'ємів обводнення від пластового тиску  $Q_{обв}(P_{пл})$  [12].

Отримані рівняння мають вигляд:

$$Q_{обв}(t) = 1.758 \cdot t - 3454$$

$$\text{Коеф. кореляції } 0,998 \quad (1)$$

$$Q_{обв}(P_{пл}) = -33.8 \cdot \ln(P_{пл}) + 114,4$$

$$\text{Коеф. кореляції } 0,967 \quad (2)$$

На рис. 3 та рис. 4 показано графічне відображення рівнянь 1 і 2.

браження рівнянь 1 і 2.

Таблиця 2

Співставлення обсягів обводнення та середні пластові тиски в Шебелинському ГКР по роках

Рік (t)	$Q_{обв}$ млн.м <sup>3</sup>	$P_{пл}$ середнє МПа
1964*	0	23,8
1989	40,6	12,0
2009	80,0	2,5
2016	90,0	2,08

\* - 1964 рік прийнято як початок зрушення водонапірної системи в газові поклади.

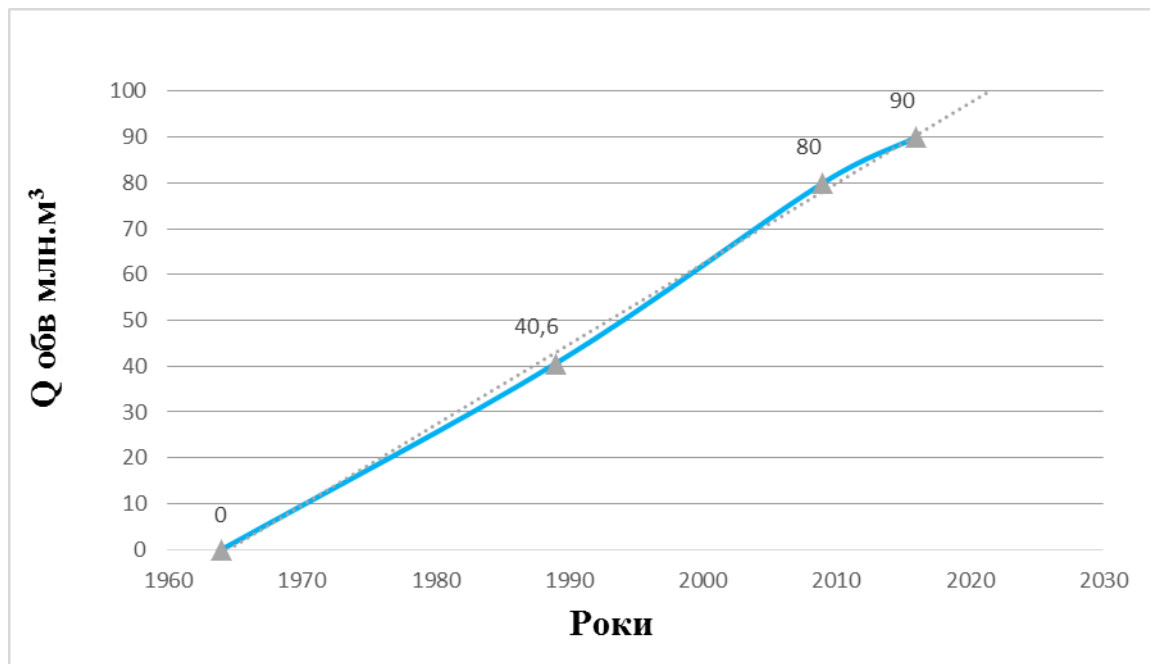


Рис. 3. Зміна об'ємів обводнення Шебелинського ГКР в часі

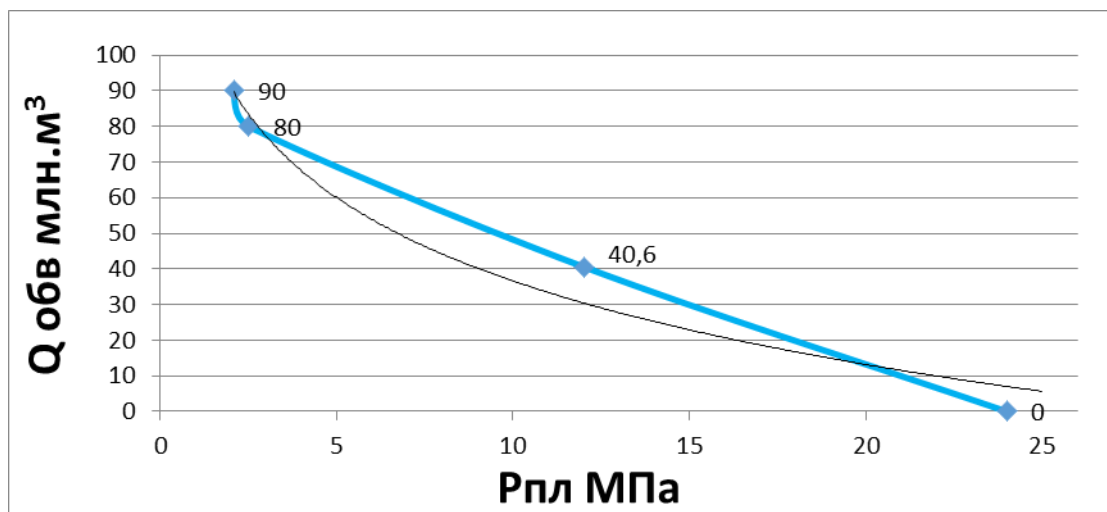


Рис. 4. Об'єми обводнення Шебелинського ГКР залежно від пластового тиску



Із отриманих рівнянь 1 і 2 та графіків рис. 3 і 4 випливає, що залежності об'ємів обводнення від часу і тиску ведуть себе неадекватно і вступають у протиріччя, оскільки на пізній стадії розробки Шебелинського родовища залежність  $Q_{обв}$  від  $R_{пл}$  показує практичну стабілізацію пластового тиску з відносно незначним, але різким ростом об'ємів обводнення при падінні пластового тиску з 2,5 МПа до 2,08 МПа за час з 2009 до 2016 року.

Із роботи [2] також випливає, що газонасичений об'єм пор Шебелинського ГКР складає  $0,576 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ , цвдочас як об'єм обводнення станом на 2016 рік складає  $90 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ . Тобто об'єм обводнення на 3 порядки менший ніж об'єм газонасичених пор і не може серйозно впливати на режим розробки родовища.

Враховуючи, що наведений об'єм законтурних пластових вод, які вторглися в газові поклади, складає 90 млн.  $\text{м}^3$ , при цьому пластові тиски знизилися із 23,8 МПа до 2,08 МПа, а водонапірні системи, в цілому, замкнені, по восьми горизонтах можна розрахувати приблизний запас води у водонапірній системі Шебелинського родовища.

Пластові води в законтурній частині родовища знаходяться під тиском (стиснуті). В ході розробки тиск у пласті поступово спадає, вода починає поступово розширюватися, що забезпечує вторгнення у газонасичені поклади.

Отже, це дозволяє провести підрахунок запасів замкнутої водонапірної системи газових та газоконденсатних родовищ. Знаючи властивості рідин, фізико-хімічні параметри пластової води, об'єм води, що увійшов у газонасичений пласт

$$V_{вс} = \frac{90 \times 10^6}{4,5 \times 10^{-4} \times (23,8 - 2,08)} = 0,921 \times 10^{10}, \text{ м}^3 \quad (4)$$

Отже, об'єм водонапірної системи Шебелинського родовища, яка забезпечила вторгнення пластової води (за рахунок її розширення) у родовище складає приблизно 9,2 млрд  $\text{м}^3$ .

Оскільки подальшого падіння пластового тиску в родовищі практично не спостерігається, то вказаний об'єм води у водонапірній системі Шебелинського ГКР (9,2 млрд.  $\text{м}^3$ ) не буде в перспективі впливати на подальше обводнення продуктивних горизонтів та підтримання пластового тиску.

На думку авторів при дослідженні обводнення родовищ слід брати до уваги вплив капілярних сил, як на залишкову газонасиченість так і на темпи переміщення газо-водяних контактів (ГВК).

Про явище капілярних сил та їх вплив широко відомо при розробці нафтових родовищ, де

за рахунок розширення (90 млн.  $\text{м}^3$ ), а також початковий та поточний пластові тиски, можна розрахувати об'єм води з якого розширилася вода, що вторглася у газові пласти, тобто запас води замкнутої водонапірної системи.

За різними даними коефіцієнт об'ємного розширення пластової води від тиску коливається  $3,7 \div 5 \times 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$  [13,14]. Значення даного параметра змінюється залежно від тиску, температури та густини рідини. Також слід зазначити що коефіцієнт збільшується при наявності в воді розчиненого газу.

Оскільки Шебелинське ГКР має значний діапазон коливань по вище наведених параметрах, то для подальших розрахунків було прийнято усереднене значення коефіцієнту об'ємного розширення пластової води від тиску у розмірі  $4,5 \times 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$ .

Для розрахунку запасів води замкнутої водонапірної системи використаємо формулу В. Н. Щелкачова, що набуває вигляду [15]:

$$V_{вс} = \frac{V_{обв}}{\beta \times (P_{пл}^{поч} - P_{пл}^{пот})} \quad (3)$$

де  $V_{вс}$  – об'єм водонапірної системи,  $\text{м}^3$

$V_{обв}$  – об'єм води, що вторглася у газонасичений поклад, за рахунок розширення  $V_{вс}$ ,  $\text{м}^3$

$\beta$  – об'ємний коефіцієнт розширення пластової води,  $4,5 \times 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$

$P_{пл}^{поч}$  – початковий пластовий тиск, МПа

$P_{пл}^{пот}$  – поточний пластовий тиск, МПа

Проведемо розрахунок запасів води замкнутої водонапірної системи Шебелинського родовища, використовуючи формулу 3 та дані табл. 2.

капілярні явища проявляються під час видобування нафти. Сили взаємодії води з гірськими породами більші, ніж нафти, тому вода здатна витіснити нафту з дрібних тріщин у більші. В даному випадку родовище газоконденсатне (коллектор гідрофільний), тому необхідно провести дослідження впливу капілярних сил на заводнення газоносної частини родовища.

Підймання рідини по капілярах під дією молекулярного притягання між стінками капілярів та рідиною відбувається до тих пір, доки поверхневий натяг спроможний утримувати стовпчик рідини. На даний процес безпосередньо впливає склад рідини, температура, фізико-хімічні властивості пласту, а також пластовий тиск, що врівноважує капілярний.

У продуктивному пласті на значній віддалі від газоводяного контакту багато капілярних і



субкапілярних пор заповнені вуглеводнями. В ході розробки рівновага капілярних сил порушується і водна фаза починає входити в тонкі газонасичені пори, а витіснені з них вуглеводні мігрують у крупні пори. Процес капілярного всмоктування може продовжуватися, постійно забезпечуючи рівновагу капілярних та пластових тисків. Найінтенсивніше капілярне всмоктування протікає в газонасичених порах гідрофільних колекторів [16].

Відомо, що пластовий тиск в газонасичених пластах врівноважується капілярними силами, які визначаються радіусом порових каналів, поверхневим натягом на межі розділу газоподібної і рідкої фаз, а також крайовим кутом змочування [17].

Формула капілярного тиску має вигляд:

$$P_k = \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta^\circ}{r} \quad (5)$$

де –  $\sigma$  – поверхневий натяг, дін/см;

$\theta^\circ$  – крайовий кут змочування в градусах;

$r$  – радіус капілярів, см.

В умовах формування газового покладу при витісненні води газом спостерігається рівновага між пластовим тиском та тиском капілярних менісків в поровому просторі колектору. В ході розробки пластовий тиск поступово падає, тим самим протидія капілярному тиску зменшується, при цьому капілярний тиск не тільки залишається на тому ж рівні, а навіть стає більшим за рахунок зростання поверхневого натягу, який є спадною функцією тиску згідно з дослідженнями М. Маскету (рис. 5) [14].

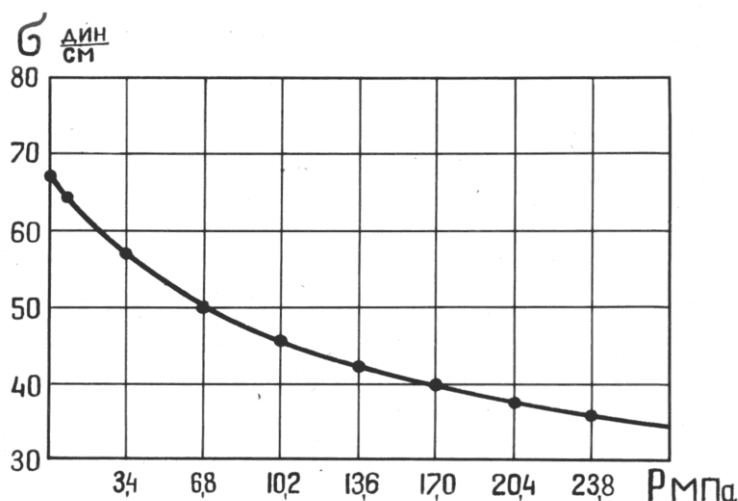


Рис. 5. Залежність поверхневого натягу води на межі з газом від тиску P

Використаємо формулу 5 для розрахунку радіусів порових каналів, що своєю капілярною протидією спроможні вирівнювати пластовий тиск. За даними експериментів [19] для зразків, узятих з Хрестищенського родовища  $\theta = 89,6^\circ$ , при тиску в 30 МПа ( $\sigma = 34$  дін/см по М. Маскету [18]), залишалися водонасиченими капіляри діаметром до 2,5 мікронів, а при тиску 10 МПа ( $\sigma = 46$  дін/см) водонасиченими залишалися капіляри діаметром 3,6 мікронів, тобто при нижчому тиску капіляри здатні вбирати у себе частину пластової води, що вторглась в газові поклади за рахунок збільшення радіуса менісків.

На рисунку 6 показана схема поглинання пластової води, що вторгається в мікроструктуру порового простору за рахунок відновлення балансу пластового тиску та капілярних сил.

Із рис. 6 випливає, що до початку розробки пластовий тиск і капілярні сили знаходилися у стані рівноваги. В ході розробки пластовий тиск поступово знижувався і система «капілярний

тиск-пластовий тиск» потребувала відновлення рівноваги. При початковому пластовому тиску  $P_{пл}^{поч}$  меніск мав радіус  $r_1$ , поступово пластовий тиск знизився до  $P_{пл}^{пот1}$  і радіус виріс до  $r_2$ , відповідно при зниженні до  $P_{пл}^{пот2}$  радіус став  $r_3$ .

Таке відновлення можливе лише при зміні радіусів менісків в мікроструктурі порового простору. Даний процес супроводжується всмоктуванням капілярами додаткової пластової води, що призводить до зниження темпів обводнення, і підтверджується в роботах [20,21], в яких наведені результати досліджень обводнення з урахуванням капілярних сил.

Згідно з даними табл.2 градієнт обводнення за роки з 1964 по 2009 рр. складав 1,77 млн.  $m^3$  / рік, а з 2009 по 2016 рік він склав 1,43 млн.  $m^3$  / рік, тобто темпи обводнення Шебелинського ГКР з часом уповільнюються.

Отже, вибіркоче обводнення не є причиною підтримання пластового тиску на Шебелинському ГКР і забезпечується пружністю локальних

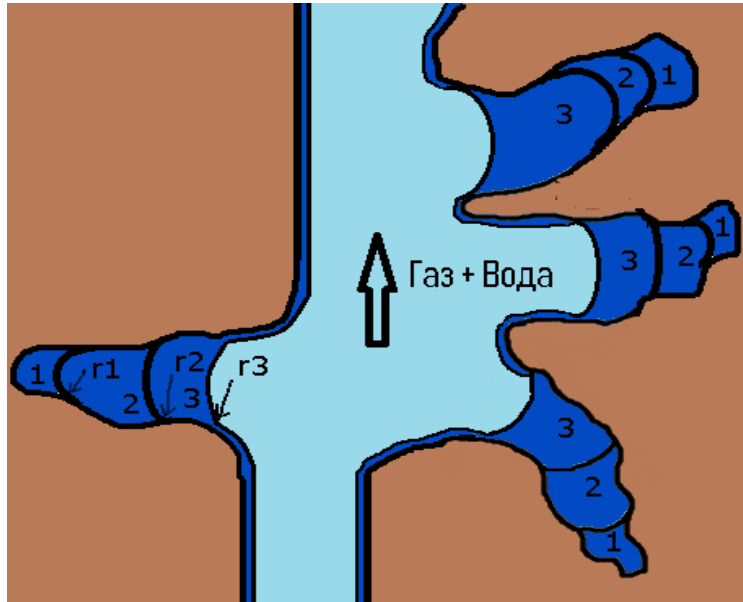


Рис. 6. переміщення межі контакту «вода-газ» у капілярах:

1 – залишкові води при  $P_{пл}^{поч}$ ; 2 – додаткові води при  $P_{пл}^{пот1}$ ;

3 – додаткові води при  $P_{пл}^{пот2}$ ;  $r_1$ ,  $r_2$  та  $r_3$  – радіуси менісків за різних  $P_{пл}$ ;  $P_{пл}^{поч} > P_{пл}^{пот1} > P_{пл}^{пот2}$

водонапірних систем окремих горизонтів, а родовище, в основному, працює у газовому режимі.

В ході дослідження були враховані всі чинники, що можуть впливати на підтримання пластового тиску – це: обводнення, просідання поверхні, пружність гірських порід, пластової води та газу. Аналіз показав, що наведені фактори не можуть в значній мірі підтримувати пластовий тиск. [2]. Виходячи із вищенаведеного, можна припустити, що на Шебелинському ГКР існує інший фактор впливу на підтримання пластового тиску; і таким фактором можуть бути перетоки газу з глибоких горизонтів, тобто відновлення запасів газу.

В роботах Кривулі С.В., Терещенко В.О., Заріцького А.П., Волосника Е.О. відмічалася можливість наявності значних запасів на великих глибинах ДДЗ [3,4].

Щодо Шебелинського ГКР, то найбільш вдало пояснює, як формування, так і можливість перетоків газу з глибоких горизонтів в поклади, що розробляються, геологічний профіль Верповського М.М. та Гладченко Ю.О. рис.5. Автори показали, що міграція вуглеводнів можлива по тектонічних порушеннях як на стадії формування покладу, так і на стадії розробки [4]. Аналогічні дослідження були проведені Чепілем П.Н. в роботі [22].

Буріння 11 глибоких свердловин (до 5 тис. метрів) на Шебелинському ГКР показало наявність газоносних ущільнених колекторів, були навіть окремі викиди газу, що свідчить про зага-

зованість відкладів карбону по всій глибині. Однак, промислових покладів, як і надійних покривель, виявлено не було. В таблиці 3 наведено номери свердловин пробурених на глибокі горизонти та результати їх випробування [16].

Із табл. 3 видно, що сталих дебітів із вказаних свердловин і глибоких горизонтів карбону отримано не було.

Враховуючи широку сітку диз'юктивних дислокацій на Шебелинському родовищі (див. рис. 1), їх підтвердження глибоким бурінням (рис. 7), можна вважати, що тектонічні порушення можуть бути шляхами сучасної міграції вуглеводнів до покладів світи мідистих пісчаників та араукаритової світи; тим більше, що пластовий тиск в них знизився до 2,08 МПа, а тиск на великих глибинах досягає 30-50 МПа, це й зумовило можливість перетоків газу.

Баланс розподілу тиску газу з глибиною за рахунок розробки було порушено, створилася гігантська міжпластова депресія, що і забезпечило, за посередництва тектонічних порушень, перетоки газу в поклади, що розробляються, тобто спостерігається відновлення запасів газу Шебелинського родовища.

**Результати дослідження перспектив розробки Шебелинського ГКР з урахуванням відновлення запасів.**

В ході дослідження було проведено аналіз розробки родовища, в результаті якого можна припустити, що річний об'єм перетоку газу в поклад, що розробляється із глибоких покладів складає в середньому 1,9 млрд. м<sup>3</sup>.

Зведені результати випробувань і газопроявів в стратиграфічних горизонтах глибоких свердловинах Шебелинсько ГКР

Горизонти	Номери свердловин в яких спостерігались газопрояви
$C_1^S - C_2^b - C_2^M$	200,300,500,600,700,701,701бис,702,703,704,800
Б-5-6	600
Б-7	200,800
К-6	701
М-2	Не спостерігались
М-3	703
М-4	200 (нафтопрояви)
М-6	300,600,701,701бис,704
М-7-6-1	300, 701,702,703
С-3-4	500,600
С-5-6	800(факел 0,8 м)
С-9	800(факел 0,8 м)

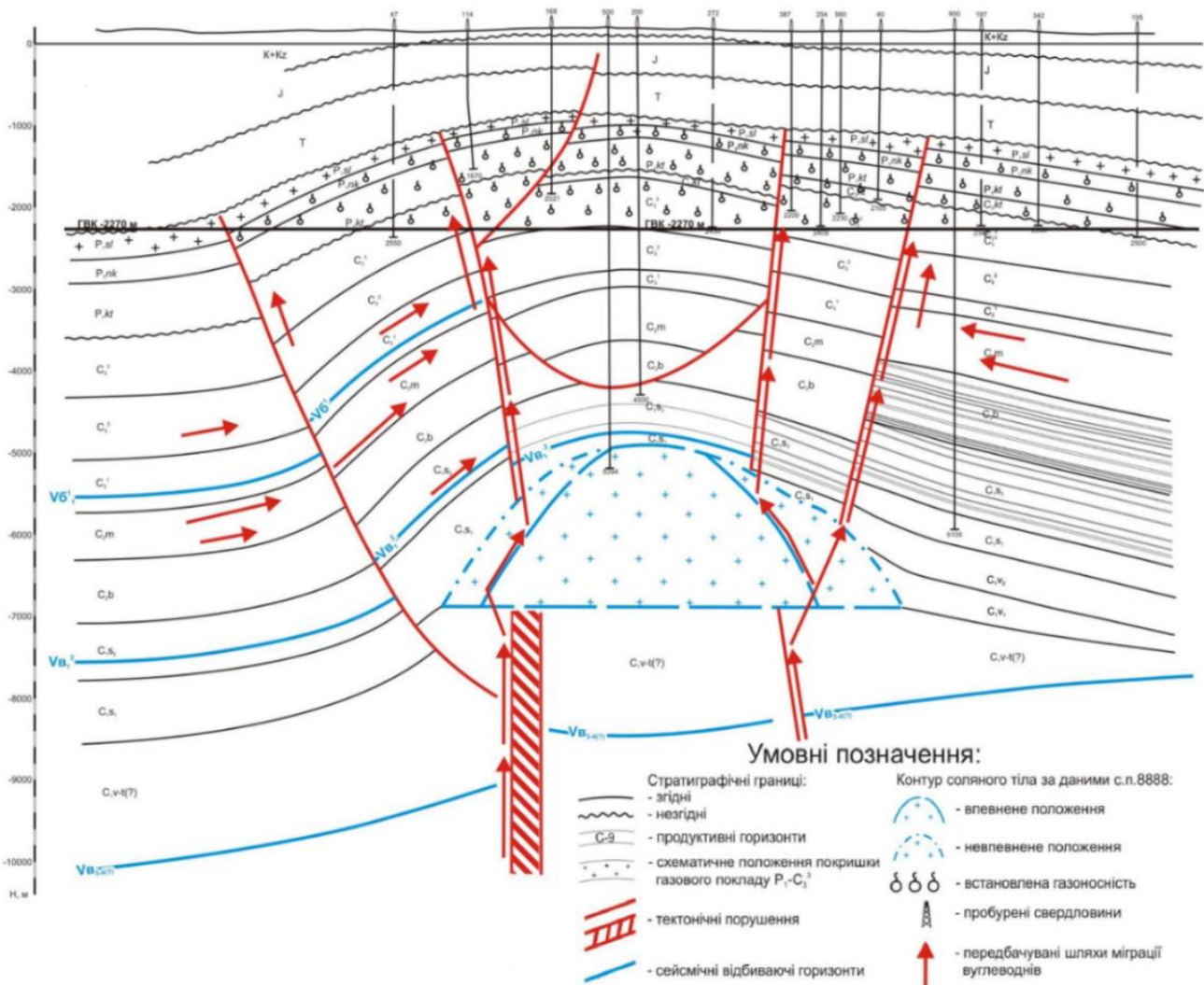


Рис. 7. Можливі шляхи перетоків газу на Шебелинському газоконденсатному родовищі згідно матеріалів Придніпровської ГРЕ (Верповський М.М., Гладченко Ю.О., 1990 р.)

На рис. 8 показано періоди розробки Шебелинського ГКР з 1980 по 2016 рік [2,3,4]. Слід зауважити, що в період 1999 по 2003 рік, річні обсяги видобутку газу були знижені до 1800–1900 млн. м<sup>3</sup>, при цьому пластовий тиск стабілізувався на рівні 3,3 МПа.

Але пізніше, в період з 2004 по 2016 рік, що спостерігається на кривих рис. 8, річний видобуток газу знову збільшився до 2,4 млрд. м<sup>3</sup>, при цьому продовжилось падіння пластового тиску.

Це дає підстави зробити припущення, що на Шебелинському ГКР спостерігається підтримання пластового тиску за рахунок відновлення запасів газу в об'ємі 1,8–1,9 млрд. м<sup>3</sup>.

Враховуючи вищенаведене, авторами було розглянуто чотири варіанти подальшої розробки Шебелинського ГКР: розробка без введення в експлуатацію дотискної компресорної станції (ДКС) та з введенням ДКС без врахування перетоків (діючі проектні варіанти), а також з врахуванням перетоків газу (відновлення запасів) для безкомпресорної та компресорної розробки (прогнози авторські варіанти).

Розрахунки видобутку газу, а також пластові тиски по рокам показано графічно за різними варіантами розробки на рис. 9 [24].

Отже, прогноз показників розробки, обґрунтований в даній статті, є уточненням до останніх прийнятих документів розробки рекомендується для врахування в наступних розрахунках щодо прогнозу довгострокового видобутку газу із Ше-

белинського ГКР. За результатами підрахунків при безкомпресорній розробці з урахуванням перетоків газу, розпочинаючи з 2020 року, буде спостерігатися перехід в режим постійного річного видобутку в об'ємах 1,9 млрд. м<sup>3</sup>; при введенні нової ДКС і пониженні робочих тисків свердловин річний видобуток в період 2020–2040 рр. буде зберігатися на рівні 2,4–2,1 млрд. м<sup>3</sup>

Загальний додатковий видобуток газу за цей період при введенні ДКС з урахуванням перетоків, порівняно з безкомпресорною експлуатацією, складе понад 6,5 млрд. м<sup>3</sup>.

**Висновки.**

1) Перспективи довгострокової розробки Шебелинського ГКР в значною мірою залежать від відновлення запасів газу за рахунок перетоків газу з глибинних горизонтів карбону по тектонічних порушеннях, що сприяє підтримуванию пластового тиску в покладі та забезпечує збільшення обсягів річного видобутку при будь-якому варіанті розробки. При цьому річний видобуток газу не може бути меншим 1.9 млрд. м<sup>3</sup> протягом багатьох десятиліть.

2) У ході розробки родовища депресія між основним резервуаром, що розробляється, та глибинними горизонтами карбону буде тільки зростати, що може збільшити об'єм газових перетоків і прискорити субвертикальні дегазаційні процеси, враховуючи наявність як макро-, так і мікротектонічних диз'юнктивних порушень.

3) Слід зауважити, що подальшого обводне-

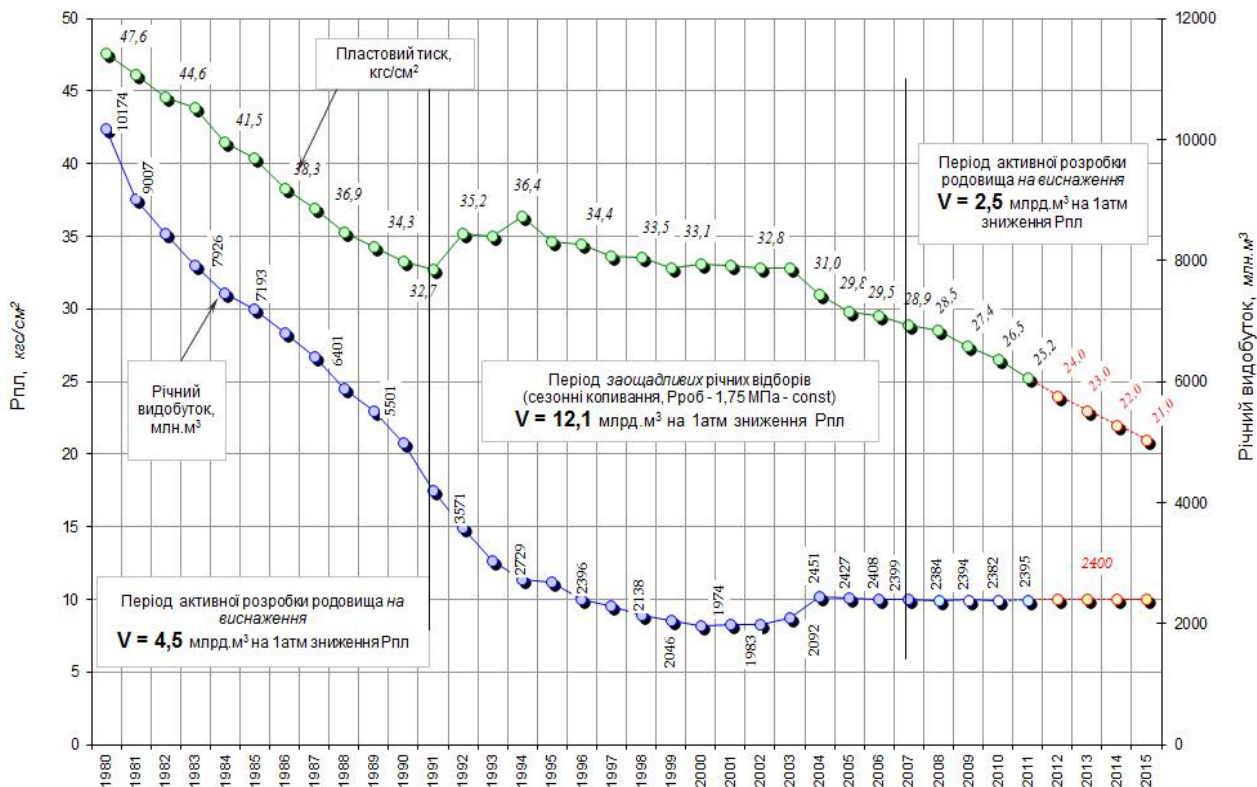


Рис. 8. Темпи вилучення залишкових запасів Шебелинського ГКР по роках [1,2]



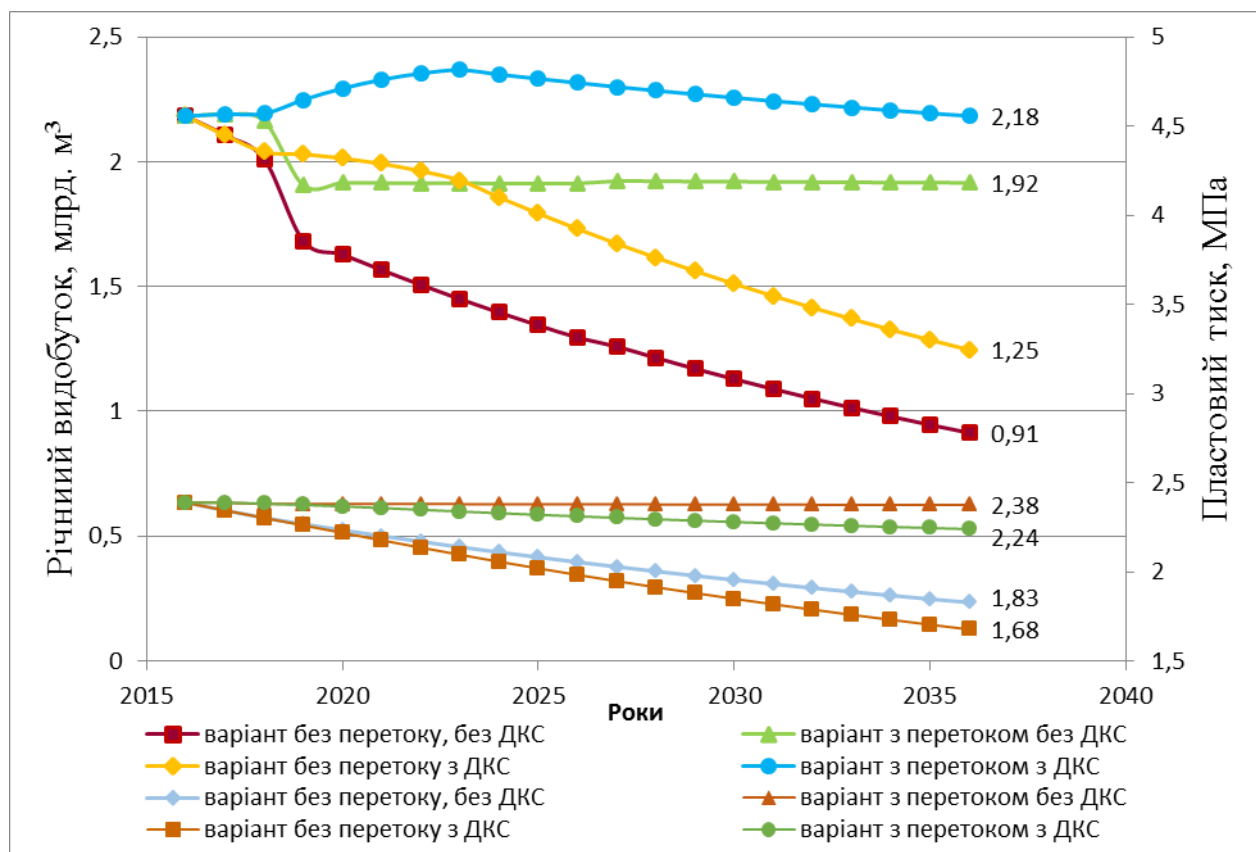


Рис. 9. Прогноз показників розробки Шебелинського ГКР за різними варіантами розробки

ння продуктивних горизонтів в перспективі не буде, враховуючи обмежену та виснажену водонапірну систему. Також, за рахунок відновлення балансу пластового та капілярних тисків на пізній стадії експлуатації, частина води, що вторгається в продуктивні поклади, та води внутрішнього водонапірного режиму будуть «розсмоктуватися» по мікрокапілярах, додатково сповільнюючи процес обводнення родовища.

4) Перерахунок проектних показників розробки з урахуванням перетоку газу з глибоких горизонтів дозволить визначитися зі збільшенням енергоефективності Шебелинського родовища та забезпечить зменшення ризиків інвестиційних надходжень в розвиток інфраструктури промислу. Додатковий видобуток газу за рахунок введення нової дотискувальної станції за період

2020–2040 рр. складе понад 6,5 млрд. м<sup>3</sup>.

5) Враховуючи можливість довгострокової розробки Шебелинського ГКР слід звернути особливу увагу на фонд свердловин, його оновлення, ремонт або використання як провідників для геотермальних ресурсів Землі при умові облаштування відповідної інфраструктури промислу.

6) Встановлене виконаними дослідженнями явище відновлення запасів газу на Шебелинському ГКР є перспективним і для інших родовищ України, особливо для Шебелинсько-Хрестищенської групи родовищ, і потребує подальших спеціальних досліджень, для визначення довгостроковості розробки родовищ на пізній стадії експлуатації.

#### Література

1. Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов / С.Н. Закиров, Р.Н. Кондрат, С.А. Волосник и др. // Материалы Международного научного семинара. В 2-х томах. – Т.2. – Москва, 2009. – С. 157-161.
2. Фесенко Ю.Л. Стан і перспективи розробки Шебелинського газоконденсатного родовища / Ю.Л. Фесенко, С.О. Волосник, І.М. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – №5-6. – С. 24-28.
3. Кривуля С.В. Особливості геологічної будови, нарізування запасів та розробка великих родовищ у відкладах Р<sub>1</sub>-С<sub>3</sub> в ДДЗ на прикладі Шебелинського газоконденсатного родовища / С.В. Кривуля, В.О. Терещенко // Вісник ХНУ. – 2012. – №1033. – С. 15-82.

4. Кривуля С.В. Критерії дорозвідки великих родовищ вуглеводнів у нижнепермсько-верхньокам'яновугільних відкладах Дніпровсько-Донецької западини : монографія / Кривуля С. В. – Х. : ТО Ексклюзив, УкрНДІгаз, НТУ «ХП». – 2014 р. – С. 173.
5. Вдовиченко А.І. Проблеми нарощування запасів і видобутку нафти і газу в Україні за рахунок їх відновлення/ А.І. Вдовиченко, А.М. Коваль, П.М. Чепіль // *Нафта і газ. Наука – Освіта – Виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку: матеріали Всеукраїнського наук.-техніч. конф. (м. Дрогобич, 10-11 березня 2016р).* – Дрогобич: ТзОВ «Трек – ЛТД». – 2016. – 174 с.
6. Яремійчук Р.С. Нефтяная реанимация / Р.С. Яремійчук // *Нефтяное обозрение «Терминал».* – 2015. – № 2. – С. 44-49
7. Юсупова Л.Ф. К вопросу об источниках происхождения и путях миграции нефти при формировании месторождений на территории республики Татарстан. // Л.Ф. Юсупова, А.Ю. Гуторов // *Материалы 38-й научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов: в 3 т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. – Т.2. – 279 с.*
8. Енергетичні ресурси геологічного середовища України (стан та перспективи) [Текст] : у 2-х т. Т.2 / Г.І. Рудько, О.І. Бондар, В.І. Ловинюков [та ін.] ; за ред. Г.І. Рудька. – Чернівці : Букрек, 2014. – 520 с. – Від Державної комісії України по запасах корисних копалин при Державній службі геології та надр України. – 80-00.
9. Лукін О.Ю. Забезпечення України власним природним газом: проблемні аспекти. За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України, 2 липня 2014 року // *Вісник НАН України.* – 2014. – №9. – С. 16–22.
10. Фык И.М. К вопросу обводнения Шебелинского месторождения / И.М. Фик, В.С. Григорьев, Д.Р. Сороченко // *Нефтяная и газовая промышленность.* – 1989. – № 4. – С. 26–29.
11. Ментух І.О. Геологічні основи перспективи розробки Шебелинського родовища / І.О. Ментух // *Геологія нафти і газу: матеріали міжвузовської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (м. Харків, 16-17 травня 2017 р.).* – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. – 98 с.
12. Фик І. М. Стан обводнення Шебелинського газоконденсатного родовища // *Актуальні питання наук про Землю: погляд молоді: матеріали II Наукової конференції студентів і аспірантів (м. Харків, 12-13 квітня 2018 р.).* – Х.: Стиль- Издат, 2018. – С. 36–40.
13. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология / Каналин В.Г., Вагин С.Б., Токарев М.А. и др.: учеб.для вузов. – М.: ОАО "Издательство "Недра", 1997. - 366 с.
14. Справочник по нефтепромысловой геологии / Н.Е. Быков, А.Я. Фурсов, М.И. Максимов и др.; под ред. Н.Е. Быкова, М.И. Максимова, А.Я. Фурсова. – М.: Недра, 1981. – 525с.
15. Абленцев В.М. Геологічні умови вилучення залишкових запасів і дорозвідки родовищ вуглеводнів північної прибережної зони Дніпровсько-Донецької западини : монографія / В.М. Абленцев, А.Й. Лур'є, Л.О. Міщенко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 192 с.
16. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – Київ; Львів, 1996. – 620 с.
17. Пірсон С.Д. Учение о нефтяном пласте / С.Д. Пірсон. – М.: Гостонтехиздат, 1961. – 670 с.
18. Маскет М. Физические основы технологии добычи нефти / М. Маскет. – М.: Гостонтехиздат, 1953. – 606 с.
19. Фик І.М. Прогнозирование остаточной газонасыщенности пласта: дис.. канд. техн.. наук. / Ілля Михайлович Фик. – Івано-Франківськ, 1981. – 227 с.
20. Andersen P.O. Improved modeling of gravity-aided spontaneous imbibition using momentum-equation-based relative permeabilities / P.O. Andersen, Y.Qiao, S. Evje, D.C. Standnes // *EAGE - 19th European Symposium on Improved Oil Recovery, 24-27 April, Stavanger, Norway, 2017* [<https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700303>].
21. Zhou X. Interrelationship of Wettability, Initial Water Saturation, Aging Time, and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition and Waterflooding. / X. Zhou, N. R. Morrow, S. Ma et al. // *SPE Journal.* – №5 (2). – P. 199–207 [<https://doi.org/10.2118/62507-PA>, [SPE-62507-PA](https://doi.org/10.2118/62507-PA)]
22. Друге життя родовищ нафти і газу України – міф чи реальність / П. М. Чепіль // *Мінеральні ресурси України.* – 2008. – №2. – С. 37-38.
23. Перспективи основної і глибинної зон нефтегазонакоплення Днепровско-Донецкой впадины / А.П. Зарицький, С.В. Кривуля, А.В. Лизанец, Е.А. Волосник // *Питання розвитку газової промисловості України: зб. наук. праць. Вип XXXIX.* – Х.: УкрНДІгаз, 2011. – С. 11-17.
24. Фик І.М. Відновлення запасів на Шебелинському газоконденсатному родовищі / І. М. Фик // *Геологія нафти і газу: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (м. Харків, 19-20 квітня 2018 р.).* – Х.: ХНУ імені Каразіна, 2018. – С. 27-31.

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

UDC 622.276.64; 622.245.54

*Ilya Fyk,*

Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [mfyk@yandex.ua](mailto:mfyk@yandex.ua), <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>;

*Mykhailo Fyk,*

PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Oil, Gas and Condensate extraction,  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
2 Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine,  
e-mail: [mfyk@ukr.net](mailto:mfyk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-5154-6001>;

*Ilya Fyk,*

Trainee Teacher, Department of Oil, Gas and Condensate extraction,  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
e-mail: [fykiliya107@gmail.com](mailto:fykiliya107@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0479-7814>

## **PROSPECTS OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF SHEBELYNKA GAS-CONDENSATE DEPOSIT IN CONDITIONS OF STOCKS RECOVERY**

The work is aimed to study the gas recovery stabilization prospects in Ukraine on the existing deposits due to renewable processes concerning gas reserves. The article reviews and analyzes the main results in the Shebelynka gas condensate field (GCF) development from the point of view of its water flooding. It is possible to restore the gas reserves in the assumption that they are being developed due to the gas flow from deep horizons. In detail, all factors are taken into consideration, which influences the formation pressure in the process of deposits development. The work presents analysis of the water pressure system in the Shebelinka GCF, the results of the calculation of reserves of edge water (water pressure system of the field is limited), investigates the dynamics of water flooding (intrusion of water in gas deposits) and the role of capillary forces in slowing down the advance of the water front. It was shown that water flooding practically does not affect the development of gas depletion, and the reservoir pressure-decline rate is slowing down both under the influence of known factors and due to the flow of gas through tectonic disruptions, especially in the core deposit. It is proved that when the annual gas consumption is reduced to 1800-1900 million m<sup>3</sup>, it will be fully compensated by the crossflow of gas. The graphic forecast of gas recovery till 2040 is presented in variants without compressor and compressor opening since 2019, taking into consideration the reserves stock.

It has been calculated that with introduction of the planned new compressor station at Shebelinka GCF annual gas production in the period of 2020-2040 will be maintained at 2.4-2.1 billion cubic meters and additional gas extraction for the period 2019-2036 is - 6.5 billion m<sup>3</sup>.

During the development of the field, depression between the main reservoir and the deep horizons of carbon will increase, that might increase the volume of gas crossflow and accelerate the degassing of the Earth, taking into account presence of macro- and micro-tectonic faults.

Considering the possibility of a long-term development in the Shebelinka GCF, it is necessary to pay special attention to the fund of wells, its updating, repair or use as a means for receiving the heat from the Earth.

The phenomenon of restoration of gas reserves at the Shebelinka GCF, which was established by researches, is promising for other deposits of Ukraine and needs further special researches, on separate objects.

**Object of research:** Shebelinka gas condensate field. Gas extraction and processes for maintaining reservoir pressure, including through the gas crossflow of gas from the deep horizons of tectonic disturbances.

**Subject of the study:** Analysis and forecast of gas production in the future for various options for development, both compressor and non-compressor exploitation of the deposit, taking into consideration maintenance of reservoir pressure and stock reserves.

**Keywords:** gas, field, development, stocks, flooding.

### *References*

1. Zakirov S. N. et al. (2009). *Materials of the International Scientific Seminar "Theory and practice of application of enhanced oil recovery methods"*, Moscow. 2, 157-161.
2. Fesenko Yu.L. et al. (2009) *Status and prospects of development of Shebelinsky gas condensate field. Naftova i gazova promy'slovisť*, 5-6, 24-28.
3. Kry`vulya S.V., Tereshhenko V.O. (2012). *Features of the geological structure, stock build-up and the development of large deposits in the deposits of P<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> in the DDD on the example of Shebelinsky gas condensate field. Visnyk XNU*, 1033, 15-82.

4. Kryvulya S.V. (2014). *Criteria for the exploration of large hydrocarbon deposits in the lower Permian-Carboniferous deposits of the Dnipro-Donets depression. Monograph. Kharkiv, «TO Eksklyuzy`v», UkrNDIgaz, NTU «KhPI», 173.*
5. Vdovy`chenko A.I. et al. (2016). *Problems of stockpiling and oil and gas production in Ukraine due to their recovery. Nafta i gaz. Nauka – Osvita – Vy`robny`ctvo: shlyaxy` integraciyi ta innovacijnogo rozvy`tku: materialy` Vseukrayins`kogo nauk.-texnich. konf. (m. Drohoby`ch, 10-11 bereznya 2016 r.), TzOV «Trek – LTD», 174.*
6. Yaremlychuk R. S. (2015). *Oil Resuscitation. Neftyanoye obozreniye «Terminal», 2, 44-49.*
7. Yusupova L.F., Gutorov A.Yu. (2011). *On the question of sources of origin and ways of oil migration during the formation of deposits in the territory of the republic of Tatarstan. Materialy 38-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh. aspirantov i studentov. Ufa, UGNTU, 2, 279.*
8. Rud`ko G. I. et al. (2014). *Energy resources of the geological environment of Ukraine (state and outlook). Chernivci, Bukrek, 520.*
9. Lukin O.Yu. (2014). *Maintenance of Ukraine's own natural gas: problem aspects. According to the materials of the scientific report at the session of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine, July 2, 2014, Visny`k NAN, 9, 16–22.*
10. Fyk I. M. et al. (1989). *On the issue of flooding of Shebelinskoye field. Neftyanaya i gazovaya promyshlennost, 4, 26–29.*
11. Mentux I.O. (2017). *Geological foundations of the prospect of developing the Shebelinsky deposit. Geology of oil and gas: materials of the inter-university scientific and practical conference of students and postgraduates (Kharkiv, May 16-17, 2017), V. N. Karazin Kharkiv National University, 98.*
12. Fyk I. M. (2018). *The state of flooding of the Shebelin gas condensate field. Actual issues of the Earth sciences: the view of the youth: materials of the II Scientific conference of students and postgraduates (Kharkiv, April 12-13, 2018), «Sty`I`-Izdat», 36–40.*
13. Kanalin V.G. (1997). *Oil and gas geology and hydrogeology. Moscow. OAO "Izdatelstvo "Nedra", 366.*
14. Bykov N.E et al. (1981). *Oilfield geology directory. Moscow, Nedra, 525.*
15. Abyelyencev V. M. et al. (2014) *Geological conditions for the extraction of residual stocks and exploration of hydrocarbon deposits in the northern floodplain zone of the Dnipro-Donets'k depression: monograph. Kharkiv. V.N. Karazin Kharkiv National University, 192.*
16. Bojko V.S. (1996). *Oil and Gas directory. Kiev; Lviv, 620.*
17. Pirson S.D. (1961). *The doctrine of the oil reservoir. Moscow, «Gostoptekhizdat», 670.*
18. Masket M. (1953). *Physical bases of oil production technology. Moscow, «Gostontekhizdat», 606.*
19. Fyk I.M. (1981). *Forecasting of residual gas saturation of the formation: PhD dis., Ivano-Frankivsk, 227.*
20. Andersen P.O. et al. (2017). *Improved modeling of gravity-aided spontaneous imbibition using momentum-equation-based relative permeabilities. EAGE - 19th European Symposium on Improved Oil Recovery, 24-27 April, Stavanger, Norway [https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700303].*
21. Zhou X., Morrow N. R., Ma S. et al. (2018). *Interrelationship of Wettability, Initial Water Saturation, Aging Time, and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition and Waterflooding. SPE Journal, 5 (2), 199–207 [https://doi.org/10.2118/62507-PA, SPE-62507-PA].*
22. Chepil` P. M. (2008). *The second life of oil and gas deposits in Ukraine is a myth or a reality. Mineral`ni resursi Ukrayiny`, 2, 37-38.*
23. Zaritskiy A.P. et al. (2011). *Perspectives of the main and deep zones of oil and gas accumulation in the Dniπροetrovsk-Donetsk cavity. The issue of development of the gas industry in Ukraine: a collection of scientific works. Vy`pusk XXXIX, Kharkiv, UkrNDIgaz, 11-17.*
24. Fyk I. M. (2018). *Reserve of reserves at Shebelinsky gas condensate field // Geology of oil and gas: materials of the all-Ukrainian scientific and practical conference of students and postgraduates (Kharkiv, April 19-20, 2018). Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 27-31.*



# ГЕОГРАФІЯ

UDC 631.4:445.4

**Andriy Borisovich Achasov,**  
Doctor of Sciences (Agriculture), Associate Professor,  
Head of the Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,  
V. V. Dokuchaiv Kharkiv National Agrarian University,  
«Dokuchaevske-2», Kharkiv region, Kharkiv district, 62483,  
e-mail: [achasov.ab@gmail.com](mailto:achasov.ab@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2446-3707>;

**Alla Oleksandrivna Achasova,**  
PhD (Biology), Associate Professor,  
National Scientific Center «A. N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry»,  
4 Chaykovskaya str., Kharkiv, 61024,  
e-mail: [alsisa971@gmail.com](mailto:alsisa971@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>;

**Arkadiy Oleksandrivich Siedov,**  
Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,  
V. V. Dokuchaiv Kharkiv National Agrarian University,  
e-mail: [shakhmet1985@gmail.com](mailto:shakhmet1985@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0604-4015>

## THE USE OF DIGITAL ELEVATION MODELS FOR DETAILED MAPPING OF SLOPE SOILS

**А. Б. Ачасов, А. О. Ачасова, А. О. Сєдов. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ГРУНТІВ.** *Останнім часом у світі тривають активні пошуки нових підходів до картографування ґрунтів. Традиційні методики ґрунтового картографування, які спирались переважно на результати польових обстежень, не відповідають вимогам сьогодення. Стаття присвячена питанню цифрового картографування ґрунтів на основі використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР). На дослідному полігоні площею 5 га було проведено детальне польове ґрунтове обстеження в ході якого було закладено 7 розрізів та відібрано 56 зразків ґрунту з поверхні. За результатами БПЛА-зйомки була побудована ЦМР з просторовою роздільною здатністю 20\*20 см. В дослідженнях був використаний методичний підхід до оцінки гідротермічних умов ґрунтоутворення шляхом геоінформаційного аналізу рельєфу. Для цього запропоновано використовувати коефіцієнт ксероморфності, який характеризує зміну гідротермічних умов для конкретної ділянки рельєфу порівняно з горизонтальною поверхнею. На основі ЦМР було побудовано моделі крутості схилів та їх експозиції. Надалі отримані моделі були перетворені у модель ксероморфності території, яка характеризує потенціал ґрунтоутворення досліджуваної місцевості. Аналіз даної моделі дозволив побудувати картограму потенційного вмісту органічного вуглецю в верхньому шарі ґрунтового покриву. В результаті порівняння даної картограми з картограмою фактичного вмісту органічного вуглецю була отримана кількісна оцінка ступеня деградації ґрунтового покриву та побудована детальна ґрунтова карта полігону. Отримана карта несе інформацію як про сучасний стан еродованих ґрунтів, так і про їх природний потенціал. Встановлено, що середня втрата ґрунтами полігону органічного вуглецю внаслідок антропогенної деградації оцінюється у 5,1 кг на 1 т ґрунту. Застосування детальної карти, що побудована на вказаних методичних підходах дозволяє раціоналізувати господарське використання ґрунтів та оптимізувати заходи щодо їх реабілітації.*

**Ключові слова:** ґрунт, карта, геоінформаційні системи, цифрова модель рельєфу, органічний вуглець, чорнозем, ксероморфність, ерозія.

**А. Б. Ачасов, А. А. Ачасова, А. А. Сєдов. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СКЛОНОВЫХ ПОЧВ.** *В последнее время в мире ведутся активные поиски новых подходов к картографированию почв. Традиционные методики почвенного картографирования, которые опирались преимущественно на результаты полевых обследований, не соответствуют требованиям. Статья посвящена вопросу цифрового картографирования почв на основе использования цифровых моделей рельефа (ЦМР). На опытном полигоне площадью 5 га было проведено детальное полевое почвенное обследование, в ходе которого было заложено 7 разрезов и отобраны 56 образцов почвы с поверхности. По результатам БПЛА-съёмки была построена ЦМР с пространственным разрешением 20\*20 см. В исследованиях был использован методический подход к оценке гидротермических условий почвообразования путем геоинформационного анализа рельефа. Для этого предложено использовать коэффициент ксероморфности, который характеризует изменение гидротермических условий для конкретного участка рельефа по сравнению с горизонтальной поверхностью. На основе ЦМР были построены модели крутизны склонов и их экспозиции. В дальнейшем полученные модели были преобразованы в модель ксероморфности территории, которая характеризует потенциал почвообразования исследуемой местности. Анализ данной модели позволил построить картограмму потенциального содержания органического углерода в верхнем слое почвенного покрова. В результате сравнения данной картограммы с картограммой фактического содержания органического углерода была получена количественная оценка степени деградации почвенного покрова и построена подробная почвенная карта полигона. Полученная карта несет информацию как о современном состоянии эродированных почв, так и об их природном потенциале. Установлено, что средняя потеря почвами полигона органического углерода в результате антропогенной деградации оценивается в 5,1 кг на 1 т почвы. Применение детальной карты, основан-*

ной на указанных методических подходах позволяет рационализировать хозяйственное использование почвы и оптимизировать мероприятия по их реабилитации.

**Ключевые слова:** почва, карта, геоинформационные системы, цифровая модель рельефа, органический углерод, чернозем, ксероморфность, эрозия.

**Formulation of the problem.** Rapid development of agrotechnologies requires their respective information support. First of all, it concerns available detailed and up-to-date soil cover information, which is the basis of agricultural production. This is especially true for Ukraine because, on the one hand, the agrarian sector is one of the main budget-forming branches of the country, and on the other hand, the mapping database of soils of Ukraine is very outdated. A solid large-scale survey of soils in Ukraine was carried out in the 1950's and 1960's, and the latest occasional soil map corrections date back to the 90's. Consequently, even the latest generation of ground maps in Ukraine has become outdated for at least 20 years.

In addition, it should be noted that even the second round of large-scale soil survey, using the old methods, does not fundamentally change the situation. A significant (albeit objective, at that time) drawback of the classic method of soil mapping, which was used in the USSR [1] and was at one time inherited by Ukraine [2], was a weak substantiation of the boundaries of the earth's habitats. The contours of the ground plots were applied to maps based on expert decisions of soil explorer-cartographers who used the materials of point field studies of the soil profiles, topographic maps and, sometimes, aerial photographs. Quantitative methods for deciphering aerial photographs and relief analysis, as a rule, were not used.

Modern agrarian production requires digital soil and agrochemical maps, representing the corresponding geospatial data bases. At the same time, the main importance of these maps should be the possibility to represent continuum of surface characteristics required by the user with the necessary detail and accuracy. Continuity of soil characteristics on such digital surface models (DSM) must be quantified. There are not so many ways to provide such a justification. Two spatial translators that can reliably transmit certain characteristics of the ground cover have already been named –remote sensing data in all of their modern manifolds, and landforms. Geostatistical capabilities for the construction of geopoies and vegetation as surface indicators are added.

Among all these sources of additional information on the soil cover, landforms are distinguished, which, unlike other factors, do not passively reflect the spatial diversity of soils, but is a factor in the formation of the surface structure by regulating the arrival of solar radiation and precipitation on

the soil surface. It has been shown previously [3] that the topography factor can be considered as a determining one for the description of the variegated soil cover for the automorphic zonal soils in Ukraine in the scale of the administrative region.

Consequently, having a digital surface model (DEM) of the territory and established mathematical relationships between the parameters of the relief and soil characteristics, it is possible to create predictive TGKs. Subsequently, these maps are adapted to local conditions by adding auxiliary information (remote sensing data, archival and field data), and field verification.

#### **Analysis of recent research and publications.**

Influence of the relief factor on the surface formation process has been known for a long time. P.A. Kostychev in his time, studying virgin steppe soils of Ukraine, showed that soils of the northern slopes are more humus-like, compared to the soils of southern exposures [4]. Specificity of soil formation on sloping lands was noted in the classical works of G.N. Vysotsky [5], D. Demek [6], A. Gerard [7], P. Furley [8] and many others.

Development of computer and geoinformation technology has given this topic a powerful new impetus. According to Bishop and Minasny [9], almost 80% of digital soil mapping projects are performed using DEM as the most powerful source of data for forecasting local soil specificities.

DEM and its derivative geomorphological parameters can be used as the basic material for surface mapping in the following four ways:

1) To update the existing topographic maps.

The analysis of the literature provides numerous examples of the DEM use and derivative models for medium-sized and small-scale soil mapping [10, 11, 12, 13, 14]. A typical example is the work of Biggs and Slater [15] who carried out a medium-scale soil survey, using DEM and compared the results with an existing ground maps created by the traditional method. Using such topographic parameters as slope, surface curvature, topographic humidity index, relative height and slope position, a scale map of 1: 100000 was constructed, which allowed updating the existing map and increasing its reliability. Hammer et al. [16] have showed that the use of DEM with a spatial resolution of 10 m makes it possible to construct maps of slopes that have a large potential application for soil survey and land use planning.

2) For the allocation of soil-landscape units.

Two potential approaches to obtain ground land-

scapes can be used. First, it is an automatic approach based on clustering [17, 18], when there are no definite criteria for the landscape classification. In these studies, an automated clustering procedure is used to determine meaningful clusters of the area, using a set of DEM derivatives. The second approach is based on compliance with the existing classification of landscapes, using expert assessment to determine the naming of selected landscapes according to the classification used [19]. Dobos et al. [20] identified the soil units according to the SO-TER (World Soil Database) classification based on the analysis of the terrain by parameters such as height, relief and tilt. Hengl and Rossiter [21] applied photointerpretation in the reference regions for extrapolation of geomorphological units to the entire study area, using nine parameters of the relief.

3) For direct evaluation of soil parameters [22, 23, 14, 24, 25].

The geomorphological parameters of the territory, as shown by the research [26, 27], can successfully be used to forecast the soil cover characteristics, as there is a dependable relationship between soil parameters and landforms characteristics. Geomorphological characteristics derived from DEM are increasingly used as auxiliary covariates for spatial prediction of soil properties [28, 29].

10 derivatives from DTM (STRM) were used in work [30] to assess organic carbon stocks in the soils of the Tibetan Highlands. It has been established that parameters such as altitude and slope length are closely related to the depth of the soil profile. M. Menezes and colleagues successfully used the DIM, derived from a topographic map of scale 1: 50000, and obtained a model for digital ground mapping of soils in Brazil from it [31]. A detailed review of the possible methods for forecasting soil parameters for DEM is presented by T. Bishop and V. Minasny in [9].

4) To optimize the soil sampling strategy. Analysis of DEM with the allocation of homogeneous sections and key structural elements of the topography optimizes sampling schemes [35, 32] and minimizes the forecast error of individual soil parameters [36].

It should be noted that the use of DEM in soil research becomes much more effective if additional information is included in the analysis. Thus, in [37], it is indicated that using DEM together with information on the geological structure, makes it possible to forecast the types of soils in the studied territory. The expediency of the integral use of DEM with the data of remote sensing and other additional materials to improve the efficiency of soil mapping is confirmed in publications [12, 20, 33, 38].

**Selection of previously unsettled parts of the general problem that the article focuses on.** The

literary review has showed that, despite a large number of publications, a lot of issues connected with surface digital mapping remain relevant.

In particular, individual geomorphological parameters are used in assessing the influence of topography on soil formation processes: altitude, exposition, steepness, slope length, topographic humidity index, curvature, topographic position index [39, 40, 41, 10, 42] or their combination as a set of regression equations.

In our opinion, this is a logical but not optimal way of formalizing the effect of relief on soil formation. Such an approach does not allow the transition from empirical observations to a truly effective analysis of landscape-soil dependencies. The systematic approach is an alternative, taking into account the impact of relief not as a set of individual indicators, but as an integral function, which largely determines soil development [3].

It has also been noted that most of the well-known publications refer to medium- and small-scale soil mapping. The use of geomorphological characteristics in large-scale and detailed mapping is given much less attention to. Although for today's agrarian production the most important are maps of scale 1: 5000 and larger.

**Formulating the purpose of the article (statement of the task).** The purpose of the article is to study the use of topographic indicative models in creation of detailed digital surface mapping materials.

**Presentation of the main research material. Object and research methods.** The research was carried out in 2016-2017 on the territory of the testing ground located on the lands of V.V. Dokuchaiv Kharkiv National Agrarian University. The experimental site is located on the slope of the southeastern exposition. The ravine divides the territory of the landfill into two sections - "fields". Field №1 is northeastern with the area of 5 hectares, field number 2 is southwestern with the area of 4.3 hectares (Fig. 1). Major studies were focused on field number 1.

Soil cover of the landfill was studied according to generally accepted methods [10] by laying out and describing 7 soil sections, as well as by additional selection of 64 soil samples from the surface.

Soil samples were selected according to two schemes: a regular network with a distance of approximately 50 m, and an irregular one - for visually detected drainage basins. The sampling points were fixed (tied to the geographical coordinate system) using the GPS device.

In all samples, the content of organic matter (C) was determined for [43]. It is an important invariant characteristic of the soil and can serve as a reliable indicator of its condition. The soil samples were ana-



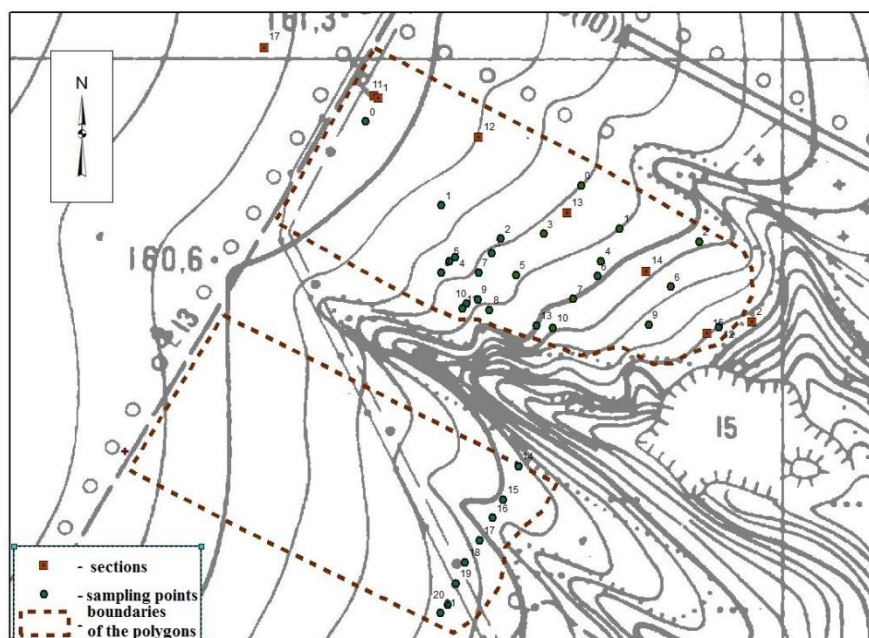


Fig. 1. Territory of the studied landfill

lysed in a certified laboratory of mass analyzes at the NSC "O.N. Sokolovsky ISS."

To analyze the influence of landforms on soil formation at the local level and the use of its characteristics in the digital surface mapping, a detailed digital model of the landfill site topography was used. The DEM spatial resolution is 20 x 20 cm per pixel.

The digital surface model was built on the photography from an unmanned aerial vehicle DJI "Phantom 3Advanced". The shooting took place on June 22, 2016, at a height of 25 m. With the help of the specialized mobile application "Pix4D Capture", an autopilot with overlapping of 80% of photos and average speed was created. The resolution of the pictures was 5 \* 5cm. The received photos and construction of DEM were processed in the program "AgisoftPhotoScan" [44]. Subsequent analysis of the DEM was performed, using the ArcGIS software package.

**Research results.** The best description of any phenomenon or a process is a mathematical model based on well-defined physical laws. The first step towards formalization of the soil formation process in automorphic zonal non-aerated soils of Ukraine can be considered parametrization of two main substance-energy agents in soil formation: solar energy and moisture, incoming to the ground. According to [3], should the granulometric composition of the soil layer varies slightly, hydrothermal conditions of soil formation are completely controlled by the topography of the investigated area.

According to the results of the morphological description of soil sections and analysis of soil sam-

ples, it has been established that the soil cover of the landfill is represented by chernozem typical with different degrees of erosion. The depth of the humus horizon (H) of the soil gradually decreases down the slope from 51 to 30 cm, which may be due to both the soil erosion and their xeromorphism, caused by specific sloping conditions of soil formation. The soil-forming rock for the territory of the landfill is heavy-sandy carbonate loess-like loam (the average content of particles is <0.01 mm is 47.7%). Thus, the process of soil formation before the beginning of active human activity was mainly controlled by topography.

To quantify this effect, it is suggested to use xeromorphism coefficient (Kc) [40], which characterizes the change of hydrothermal conditions for a specific landforms site in comparison with the horizontal surface:

$$Kk = Ki / Kz (1),$$

where Ki is insolation coefficient, determining direct solar radiation on the real slope compared with the horizontal surface;

Kz is the relative humidity coefficient, characterizing the flow of moisture to the soil on this slope compared with the horizontal surface.

The calculating method of the reduced coefficients is presented in works [45, 46, 34]. The coefficients can be used to calculate the absolute values of solar radiation and precipitation for specific slopes, as well as the relative parameters that characterize the spatial soil-forming "potential" of the terrain.

It should be noted that KK is by its very nature close to the radiation index of dryness, widely used in geography to assess the climatic conditions of the

terrain formation. The xeromorphy coefficient obtains its physical meaning if it is modified as a ratio with numerator equal to the product of the annual radiation balance on  $K_i$ , and denominator is the product of the  $K_z$  per year of the amount of precipitation and the latent energy of steam generation. As a result, the analogue of the Grigoriev-Budiko dryness index for local landscapes is obtained.

It is clear that  $K_k$  can not fully reflect the influence of topography on soil formation, but in the first approximation it allows to quantify hydrothermal conditions at each point of the relief. The effectiveness of  $K_c$  use in the study of soil cover has been confirmed for the conditions of the Steppe and For-

est-steppe of Ukraine. It has been established that  $Q_k$  in non-eroded soils is closely related to the content of humus in black earths and the depth of their profile [45], and, accordingly, can act as a predictor in ground mapping [43].

Based on the results of the UAV-shooting of the DEM landfill (Fig. 2), derivative models were built by ArcGIS program of the following relief parameters: slope steepness, exposure, insolation coefficient ( $K_i$ ), hydromorphic coefficient ( $K_g$ ), xeromorphic coefficient ( $K_c$ ). Table 1 shows statistical characteristics of these parameters for sites where samples of soil were selected.

The model of soil xeromorphism became the

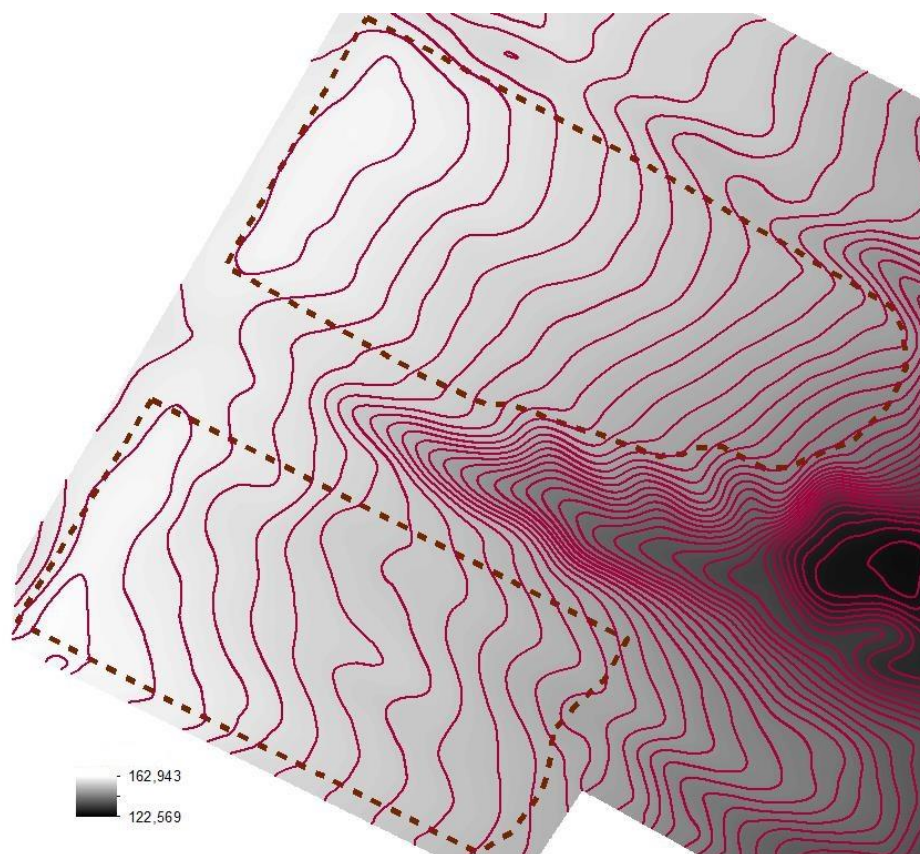


Fig. 2. DEM of experimental testing ground

Table 1

Characteristics of sampling sites

Variable	Arithmetic mean	Minimum value	Maximum value	Standard deviation	Variation coefficient
Steepness	3,1	0,7	5,8	1	32
Exposition	125	55	161	25	20
Hight	155	144	161	3	2
$K_i$	1,028	0,958	1,073	0,021	2
$K_r$	0,891	0,802	0,975	0,033	3
$K_k$	1,156	1,026	1,337	0,058	5
$C_1$	2,1	1,3	2,9	0,3	13
$C_2$	2,7	2,2	3,1	0,2	6

Note:  $C_1$  - the content of organic carbon in a layer of soil 0-10 cm, obtained analytically;  $C_2$  - the content of organic carbon in a layer of soil 0-10 cm, calculated on the model of xeromorphism.



spatial base for the creation of cartograms of organic carbon content in the upper layer of the landfill (Fig. 3). The calculation was based on logic-statistical models established earlier for a large sample (164 sections) of non-aerated soils [45, 46].

Since most of the samples on the territory of the landfill (56 pcs.) was selected on field number 1,

all the illustrations will characterize it in future.

Correlation analysis has showed that for the landfill territory there is no significant link between values of C1 content and relief parameters (Table 2). There is no link between C1 and the calculated carbon content (C2):  $r = -0.04$ , either.

Comparing C1 and C2 values by 56 points, it

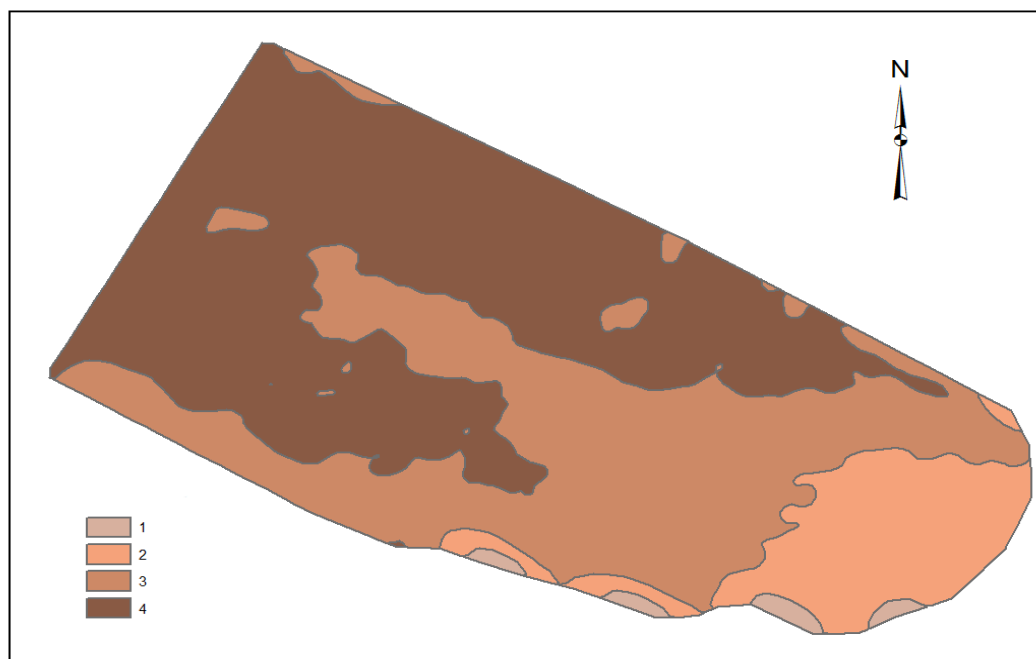


Fig. 3. The cartogram of organic carbon potential content in the upper layer of soil (C2) is constructed by method of geoinformation analysis of the landforms.

Symbols: 1)  $C_2 < 1.7\%$ ; 2)  $C_2 = 1.7-2.4\%$ ; 3)  $C_2 = 2.4-4.7\%$ ; 4)  $C_2 > 2.7$

Table 2

Results of correlation analysis

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Kk	Ki	Kr	Exposition	Steepness	Hight
C <sub>1</sub>	1	-0,04	-0,04	0,23	0,08	0,27	-0,08	0,11
C <sub>2</sub>	-0,04	1	-0,99	-0,71	0,91	-0,52	-0,91	0,69

has been proved that the cartogram obtained during the geoinformation modeling, demonstrates the value of organic carbon content on average by 0.51% higher than the values established analytically in the soil survey. Moreover, the difference between the maximum values in the samples of the predicted and actually existing content C was only 0.2%, while the minimum values of C for the two samples differed by 0.9%.

This is absolutely logical because the cartographic materials obtained by the proposed algorithm for calculating the content of organic carbon reflect the situation of natural soil formation, without taking into account modern anthropogenic degradation of the soil. That is, they reflect natural potential of the soil. Loss of the upper layer of soil as a result of erosion processes leads to a decrease in C

in the layer of soils in proportion to the degree of their erosion.

Having studied changes in the depth profile of the soil under the transect located along the slope (Figure 4), it has been established that the depth of the humused part of the profile (horizons H + Hr) of the arable soil gradually reduces due to decrease in the absolute height of the surface, indicating the influence of water erosion processes.

At the same time, section №2, located 10 m below the margin of the field in the area under virgin steppe vegetation, on the contrary, is characterized by super-high value of the humus part in the profile. Studies have shown that a solid layer of dark-colored humus soil is revealed at a depth of 200 cm. The reason for this is a sharp decrease in the rate of water flow in the area covered with herbaceous ve-

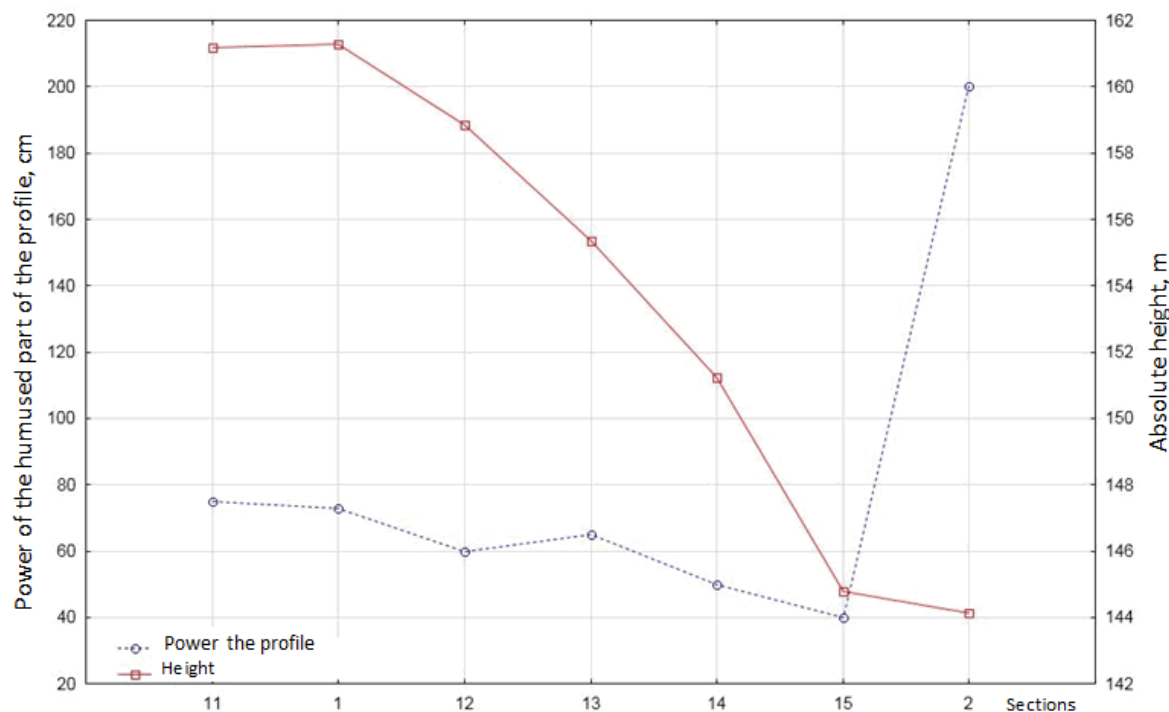


Fig.4. Change in depth of a landfill soil on height

getation, which contributes to the deposition of soil particles taken from the above cultivated slope.

Another confirmation of the erosion transformation of the landfill sites is the fact that the variation coefficient for the sample of calculated values C is half the coefficient of variation for the analytical values (Table 1). Indeed, the studied fields have practically the same constant exposure, which determines the weak spatial variability of solar radiation arrival on the surface. Accordingly, the process of organic matter formation in soils should be more homogeneous for the entire study area.

Consequently, the difference between the estimated and actual values of the C content in the upper layer of the landfill and absence of significant correlations of the actual carbon content with the relief parameters are associated with water erosion processes. This leads to a dynamic complex of washed away slope soils whose genesis is caused by the simultaneous influence of water erosion and sloping xeromorphism.

Furthermore, an actual cartogram of content C was constructed according to the laboratory measurements with the help of the ArcGIS program (Fig. 5).

The basis for cartograms was the value of C for 56 points located on field number 1. Interpolation was carried out using the method of weighted distances. Spatial structure of the content C in the upper layer of soils of the landfill also confirms a significant degree of their transformation under the influence of erosion processes.

Comparison of the obtained cartograms (Figures 3 and 5) allows to construct a detailed map of the landfill grounds. The algorithm for constructing such a map is as follows:

1) To establish the correspondence between C contents in a layer 0-10 cm and the degree of soil wash off. For this purpose, a standard characteristic of the C content distribution on the depth in the immutable soil is used. In our studies it was section number 20, which was laid outside the testing ground in the watershed and represented a typical modal chernozem. The diagnostic feature of weakly washed off soils is the erosion occupying half thickness of the humus accumulative horizon N. Accordingly, we assume that for our landfill value C in the upper layer of immutable soils should be more than 2.7%, for weakly washed off soils it should fluctuate in the range of 2.4-2, 7%.

Average -washed soils are characterized by washing off from half to the entire horizon N. Content C in the upper layer of such soils varies within 1.7-2.4%. Heavily washed soils, in which there is no horizon H and part of the upper transition horizon, are characterized by value of C <1.7%. We used these ranges in the construction of cartograms C (Figures 3 and 5).

2) Overlaying of cartograms 3 and 5 in order to select all soil habitats formed on the crossing of the initial data.

3) Ground identification of the received map-diagram (Fig. 6). It is based on the following logical considerations:

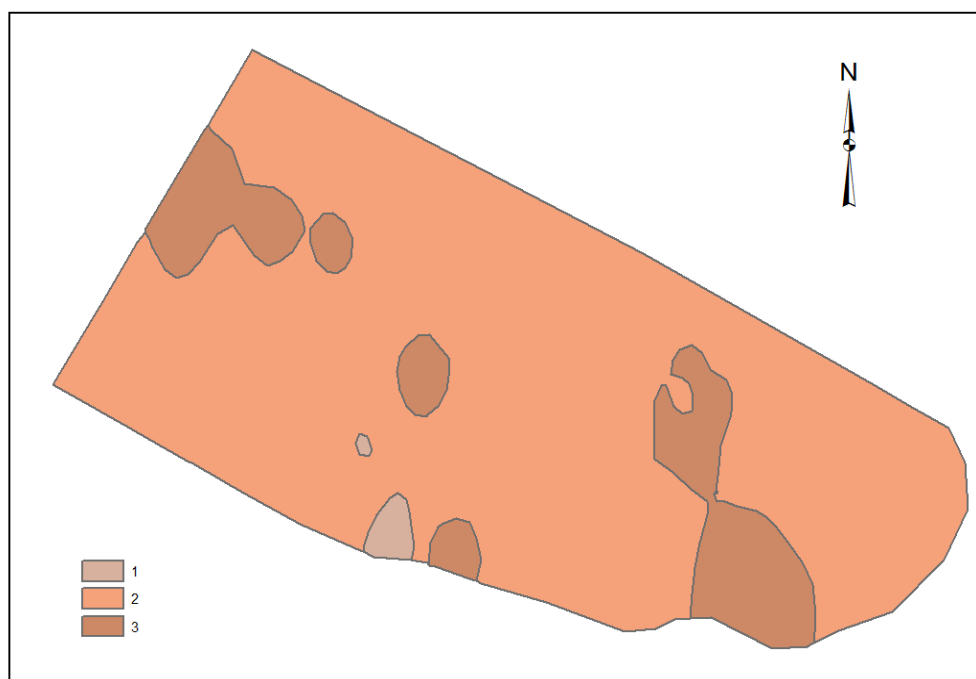


Fig. 5. Cartogram of the actual content of organic carbon in the upper layer of soil (C1), constructed by method of weighted distances.  
 Symbols: C1 <1.7%; 2) C1 = 1.7-2.4%; 3) C1 = 2.4-2.7%.

The cartogram of the actual content of organic carbon (Fig. 5) can be interpreted as a map of soil erosion, where area № 1 corresponds to the heavily washed off soils, area № 2 – medium washed off soils and area № 3- weakly washed off chernozem.

The cartogram of the estimated potential content C (Fig. 3) reflects the quasi-solid state of soils, in which the erosion processes are a priori absent. Thus, the four distinct areas characterize not erosion but specific sloping hydrothermal conditions, in which it is impossible to form soil similar to the ground of the plain. Such conditions are typical for, for example, southern slopes of great steepness. Such underdeveloped soils have recently been named xenomorphic [47]. Accordingly, area № 1 corresponds to heavily xenomorphic, area № 2 – average xenomorphic, area № 3 – weakly xenomorphic and area № 4 – modal chernozem.

The resultant forecasting map of soils is given in Fig. 6. It describes the soil cover of the field in more details, taking into account both its present condition and the soil formation potential. The map looks rather unusual. This is due to the detailed received information and the variability of the ground cover of the landfill.

Let us summarize the obtained results. The cartogram of potential content C (Fig. 5), constructed on the basis of the DEM analysis, reflects the initial state of the soil, or in other words, shows the "potential of the soil". It is, in fact, the standard to compare the parameters of modern soils to assess the degree of their degradation. Thus, the average loss of the

organic carbon by the landfill soil due to anthropogenic degradation can be estimated at 0.51% by weight, that is, 5.1 kg per 1 ton of soil.

Combination of such a "quasi-virgin" ground map with the results of modern field soil surveys can significantly increase the informative resulting map.

In particular, analysis of Fig. 3 allows us to conclude that the initial conditions of soil formation for the studied field varied slightly. Weak- and medium-xenomorphous chernozems were formed only in the lower part of the slope due to significant slopes. Anthropogenic erosion degradation of soils greatly complicated the structure of the soil, making it stochastic. Thus, the southern part of the field adjacent to the bottom of the slope, being rather steep, is characterized by a high content of organic carbon, which contradicts the logic of soil formation and indicates the redeposition of soil with high hums content that has been taken out of the upper part of the field.

The obtained map, based on the research, (Fig. 6) not only reflects the current condition of the soil, but also allows to approach the process of managing soil resources in a new way. As a result of such mapping we obtain spatial information. Based on it, we can distinguish between degraded but potentially fertile soils from soils whose low fertility is due to natural factors - unfavorable hydrothermal conditions. Accordingly, different approaches should be applied to the use of these soils and taking soil protection measures.

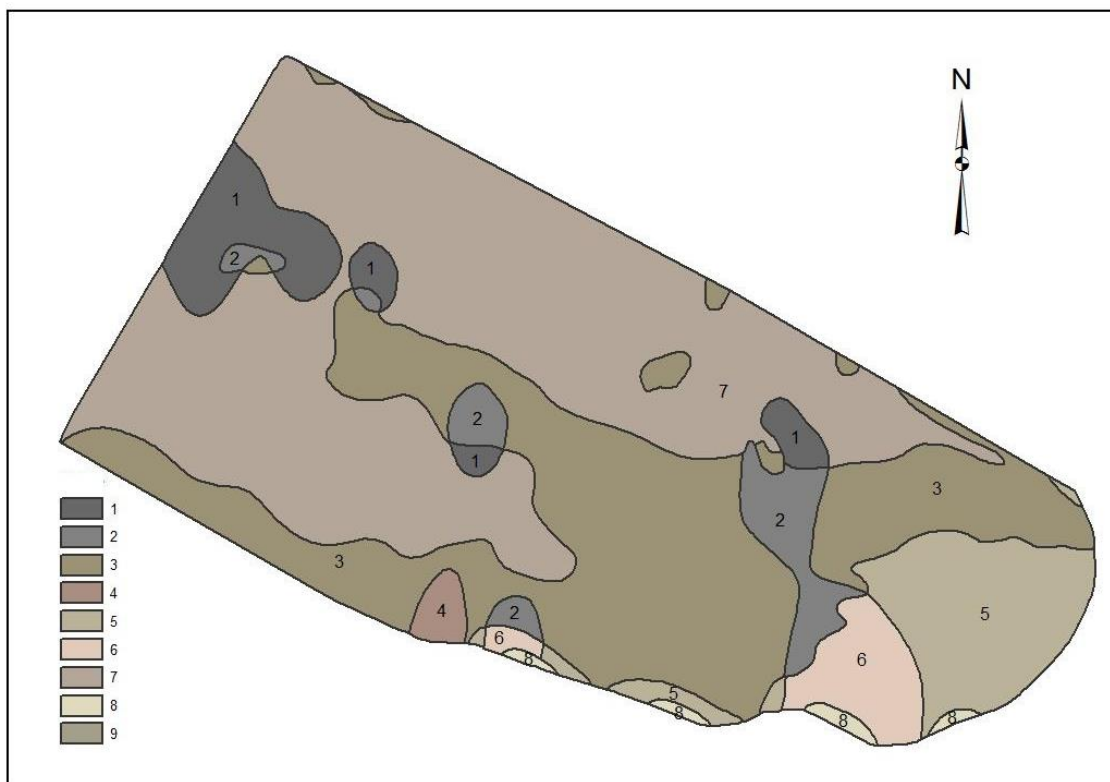


Fig. 6. Map of the landfill soils.

Symbols: 1 - chernozem typical weakly washed off, 2 - chernozem typical weakly xenomorphic, 3 - chernozem typical weakly xenomorphic and slightly washed off, 4 - chernozem typical weakly xenomorphic, medium washed off, 5 - chernozem typical medium xenomorphic, 6 - chernozem typical medium – xenomorphic, alluvial; 7 - chernozem typical medium washed off, 8 - chernozem typical heavily xenomorphic alluvial

### Conclusion.

1. Soils on slopes are formed in essentially different conditions in comparison with soils on the plain territories. Sloping soil formation is the result of a complex spatial combination of natural processes of xeromorphism, separation, transit and resedimentation of soil particles due to soil erosion. Therefore, it is necessary to use a fundamentally different approach in comparison with the soils of plain areas for correct mapping of slope soils. The combined effect of these processes should be taken into account.

2. Such an approach is used in geoinformation analysis of the terrain, making it possible to quantitatively formalize hydrothermal conditions of soil formation on the slopes and to spatially assess its xeromorphism.

romorphism.

3. Mapping materials constructed on this methodical approach characterize the potential of the landscape in terms of soil formation and reflect the quasicyclical condition of the soil or "soil potential".

4. Detailed surface maps created by combination of the field and laboratory soil surveys results with the results of soil potential assessment for the analysis of DEM in the article make it possible to adequately estimate and objectively reflect distribution of eroded and xeromorphic soils and their complexes on sloping lands.

**Acknowledgements.** The authors are grateful for the assistance in carrying out UAV shooting and processing of the results to the company InteticsGeo and personally O. Seliverstov.

### References

1. *Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований [Текст].* – М.: Колос, 1973. – 94 с.
2. Тихоненко Д.Г. *Картографія ґрунтів [Текст]: навч. посібник / Д. Г. Тихоненко, М. О. Горін, А. О. Георгі та ін.; за ред. Д. Г. Тихоненка // вид-во Харківський державний аграрний університет ім. В.В.Докучаєва.* – Харків, 2001. – 321 с.
3. Ачасов А.Б. *Ґрунтово-геоінформаційні засади протиерозійної оптимізації агроландшафтів: теорія і практика: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. сільс. наук: спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» [Текст] / А.Б. Ачасов – Київ, 2009. – 40 с.*
4. Костычев П. А. *Почвы черноземной области России, их происхождение и состав [Текст] / П. А. Костычев.* – М.: Гос. изд-во сельскохоз. лит-ры, 1949. – 239 с.



5. Высоцкий Г. Н. Об ороклиматических основах классификации почв [Текст] / Г. Н. Высоцкий // Почвоведение. – 1906. – № 1. – С. 1–18.
6. Демек Я. Теория систем и изучение ландшафтов [Текст] / Я. Демек ; пер. с чеш. К. Г. Тарасов. //Прогресс – М., 1977. – 223 с.
7. Джеррард А. Дж. Почвы и формы рельефа [Текст] / А. Дж. Джеррард ; пер. с англ. Р. В. Фурсенко, Е. М. Видре. – Недра. – Л., 1984. – 204 с.
8. Furley P. Relationships between slope form and soil properties developed over chalk parent materials [Текст] // Slopes, form and process. Ins. Br. Geograp. Spes. Publ. – 1971. – № 3. – P. 141–146.
9. Bishop, T.F.A. Digital soil–terrain modelling: the predictive potential and uncertainty [Текст]/ T.F.A. Bishop, B.Minasny // Environmental Soil–Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics. CRC Press, Boca Raton, FL. – 2005. – P. 185–213.
10. Aksoy, E. Soil Mapping Approach in GIS using Landsat Satellite Imagery and DEM Data [Електронний ресурс]/ E. Aksoy, G. Özsoy, S.M. Dirim // Data. African Journal of Agricultural Research. – 2009. – Vol. 4. – P. 1295–1302. – Режим доступу: <http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/D00C9C238184>.
11. Ming, Z. Application of Satellite Remote Sensing to Soil and Land Use Mapping in the Rolling Hilly Areas [Текст] / Z. Ming, R. Goosens, L. Daels// EARSel Advances in Remote Sensing – 1993.– Vol. 2. – P. 34–44.
12. Dobos, E. Use of Combined Digital Elevation Model and Satellite Radiometric Data for Regional Soil Mapping [Електронний ресурс] / E. Dobos, E. Micheli, M.F. Baumgardner, L. Biehl, T. Helt // Geoderma. – 2000. – vol. 97 – P. 367–391. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00046-X)
13. Dobos, E. A Regional Scale Soil Mapping Approach using Integrated AVHRR and DEM Data [Електронний ресурс] / E. Dobos, L. Montanarella, T. Negre, E. Erika Micheli // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2001. – vol. 3. – P. 30–42. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85019-4](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85019-4).
14. Bell, J.C. Soil Drainage Class Probability Mapping using a Soil–Landscape Model [Електронний ресурс] / J.C. Bell, R.L. Cunningham, M.W. Havens // Soil Science Society of America Journal. – 1994. – Vol. 58. – P. 464–470. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2136/sssai1994.03615995005800020031x>.
15. Biggs, A. Using soil landscape and digital elevation models to provide rapid medium scale soil surveys on the Eastern Darling Downs, Queensland [Текст] / A. Biggs, B. Slater // Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. – 1998. – Montpellier, France.
16. Hammer, R.D. Slope class maps from soil survey and digital elevation models [Текст] / R.D. Hammer, N.C. Young, T.L. Wolenhaupt, T.L. Barney, T.W. Haithcoate // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1995. – vol. 59. – P. 509–519.
17. Bathgate, J.D. A geographic information systems based landscape classification model to enhance soil survey: a southern Illinois case study [Текст] / J.D. Bathgate, L.A. Duram // Journal of Soil and Water Conservation. – 2003. – Vol. 58 (3). – P. 119–127.
18. J. Schmidt. Multi-scale landform characterization [Текст] / J. Schmidt, R. Andrew // Area. – 2005. – Vol. 37. – P. 341–350.
19. MacMillan, R.A. Automated analysis and classification of landforms using high-resolution digital elevation data: applications and issues [Текст] / R.A. MacMillan, T.C. Martin, T.J. Earle, D.H. McNabb // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2003. – Vol. 29 (5). – P. 592–606.
20. Dobos, E. An SRTM-based procedure to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 and 1:5 million scales [Електронний ресурс] / E. Dobos, J. Daroussin, L. Montanarella // EUR – Scientific and Technical Research Reports. – 2005. – Luxembourg. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/srtm-based-procedure-delineate-soter-terrain-units-11-and-15-million-scales>.
21. Hengl, T. Supervised landform classification to enhance and replace photointerpretation in semi-detailed soil survey [Текст] / T. Hengl, D.G. Rossiter // Soil Science Society of America Journal. – 2003. – vol. 67 (5). – P. 1810–1822.
22. Moore, I.D. Soil Attribute Prediction using Terrain Analysis [Електронний ресурс] / I.D. Moore, P.E. Gessler, G.A. Nielson // Soil Science Society of America Journal. – 1993. – Vol. 57. – P. 443–452. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2136/sssai1993.03615995005700020026x>.
23. Gessler, P.E. Modelling Soil Landscape and Ecosystem Properties using Terrain Attributes [Електронний ресурс] / P.E. Gessler, O.A. Chadwick, F. Chamran, L. Althouse, K. Holmes // Soil Science Society of America Journal. – 2000. – vol. 64. – P. 2046–2056. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2136/sssai2000.6462046x>.
24. Hammer, R.D. Slope Class Maps from Soil Survey and Digital Elevation Models [Електронний ресурс] / R.D. Hammer, N.C. Young, T.L. Wolenhaupt, T.L. Barney, T.W. Haithcoate // Soil Science Society of America Journal. – 1995. – vol. 59. – P. 509–519. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2136/sssai1995.03615995005900020034x>.
25. Ачасов А. Б. К вопросу влияния рельефа на гумусированность черноземов [Текст] / А. Б. Ачасов // Почвоведение. – 2006. – № 9. – С. 931–938.
26. McKenzie, N.J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation [Текст] / N.J. McKenzie, P.J. Ryan, // Geoderma. – 1999. – Vol. 89 (1–2). – P. 67–94.
27. McBratney, A.B. On digital soil mapping [Текст] / A.B. McBratney, M.L. Mendonça Santos, B. Minasny // Geoderma. – 2003. – Vol. 117 (1–2). – P. 3–52.
28. Kempen, B. Three-Dimensional Mapping of Soil Organic Matter Content using Soil Type-Specific Depth Functions [Електронний ресурс] / B. Kempen, D.J. Brus, J.J. Stoorvogel // Geoderma. – 2011. – Vol. 162. – P. 107–123. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.01.010>.

29. Ten Caten, A. Spatial Resolution of a Digital Elevation Model Defined by the Wavelet Function [Електронний ресурс] / A. Ten Caten, R.S.D. Dalmolin, F.A. Pedron, M.L. Mendonca-Santos // Pesquisa Agropecuaria Brasileira. – 2012. – Vol. 47. – P. 449–457. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300018>.
30. Yang, Ren-Min. Precise estimation of soil organic carbon stocks in the northeast Tibetan Plateau [Електронний ресурс] / Ren-Min Yang, Gan-Lin Zhang, Fei Yang, Jun-Jun Zhi, F. Yang, F. Liu, Yu-Guo Zhao, De-Cheng Li // Scientific Report. – 2016. – P. 1–10. – Режим доступу: <http://media.springernature.com/m685/nature-assets/srep/2016/160224/srep21842/pdf/srep21842.pdf>.
31. Duarte de Menezes, M. Knowledge-based digital soil mapping for predicting soil properties in two representative watersheds [Електронний ресурс] / M. D. de Menezes, S. H. G. Silva, C. R. de Mello, P. R. Owens, N. Curi // Scientia Agricola. – 2018. – Vol. 75. – Режим доступу: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162018000200144](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162018000200144).
32. Silva, S.H.G. Evaluation of Conditioned Latin Hypercube Sampling as a Support for Soil Mapping and Spatial Variability of Soil Properties [Електронний ресурс] / S. H. G. Silva, P. R. Owens, B. M. Silva, G. C. de Oliveira, M. D. de Menezes, L. C. Pinto, N. Curi // Soil Science Society of America Journal. – 2015. – vol.79(2), – P. 603–611. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/273521274\\_Evaluation\\_of\\_Conditioned\\_Latin\\_Hypercube\\_Sampling\\_as\\_a\\_Support\\_for\\_Soil\\_Mapping\\_and\\_Spatial\\_Variability\\_of\\_Soil\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/273521274_Evaluation_of_Conditioned_Latin_Hypercube_Sampling_as_a_Support_for_Soil_Mapping_and_Spatial_Variability_of_Soil_Properties).
33. Sindayihebura, A. Comparing digital soil mapping techniques for organic carbon and clay content: Case study in Burundi's central plateaus [Електронний ресурс] / A. Sindayihebura, S. Ottoy, S. Dondeyne, M. Van Meirvenne, J. Van Orshoven // Catena. – 2017. – Vol. 156. – P. 161–175 – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S034181621730125X>.
34. Булыгин С.Ю. Использование интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при картографировании почвенного покрова черноземной зоны [Електронний ресурс] / С.Ю. Булыгин, А.Б. Ачасов, Ф.Н. Лисецкий // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – Серия: Естественные науки. – 2012. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-integralnogo-analiza-dannyh-distan-tsionnogo-zondirovaniya-i-tsifrovyyh-modeley-reliefa-pri-kartografirovanii-pochvennogo>.
35. Minasny, B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information [Текст] / B. Minasny, A.B. McBratney // Computers & Geosciences. – 2006. – Vol. 32 (9). – P. 1378–1388.
36. Brus, D.J. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables [Текст] / D.J. Brus, G.B.M. Heuvelink // Geoderma. – 2007. – vol.138 (1–2). – P. 86–95.
37. Moore, I.D. Terrain analysis for soil-specific crop management. In proceedings book [Текст] / I.D. Moore, P.D. Gessler, G.A. Nielsen, G.A. Peterson // Soil Specific Crop Management. – 1992. – Minnesota Extension Service. – 14–16 April. – P. 27–57.
38. Bayramin, I. Using geographic information system and remote sensing techniques in making pre-soil survey [Текст] / I. Bayramin // In proceedings book, 15th Int. symposium on desertification ISD. Soil Sci. Society of Turkey. – 2001. – Konya, Turkey.
39. Лисецкий Ф. Н. Климатическая обусловленность почвообразования в Центральном Черноземье [Текст] / Ф. Н. Лисецкий, О. А. Чепелев // Вестник ВГУ. – Серия: География и геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 15–23.
40. Шпедт А. А. Влияние мезорельефа на продуктивность зерновых культур и плодородие чернозема Красноярской степи [Текст] / А. А. Шпедт, В. К. Пурлаур, Н. В. Михайленко, П. В. Кузьмин // Почвоведение. 2004. – № 10. – С. 1228–1234.
41. Miller J. O. Soil Organic Carbon Content in Frigid Southern Appalachian Mountain Soils [Текст] / J. O. Miller, J. M. Galbraith, W. L. Daniels // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2004. – 68:194. – 203 p.
42. Чинилин А.В. Крупномасштабное цифровое картографирование содержания органического углерода почв с помощью методов машинного обучения [Текст] / А.В. Чинилин, И.Ю. Савин // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 2018. – Вып. 91. – С. 46–62. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-46-62>.
43. Ачасов А.Б. Використання цифрових моделей рельєфу при дослідженні ґрунтового покриву [Текст] / А.Б. Ачасов // Вісник ХНАУ. Сер. «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». – Х.: ХНАУ. – 2008. – № 1. – С. 157–159.
44. Седов А.О. Можливості використання БПЛА середнього цінового сегменту для картографування сільськогосподарських ресурсів [Текст] / А. О. Седов // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». – 2018. – вип. 18. С. 22–29.
45. Ачасов А.Б. Деякі аспекти формалізації гідротермічних умов ґрунтоутворення [Текст] / А.Б. Ачасов // Вісник аграрної науки. – 2006. – № 9. – С. 17–21.
46. Ачасов А. Б. К вопросу влияния рельефа на гумусированность черноземов [Текст] / А. Б. Ачасов // Почвоведение. – 2006. – № 9. – С. 931–938.
47. Класифікація ґрунтів України [Текст] : за редакцією доктора сільськогосподарських наук М. І. Полупана / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко // ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського. – Київ : [б. и.], 2005.

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

UDC 631.4:445.4

**Andriy Achasov,**

Doctor of Sciences (Agriculture), Associate Professor,  
Head of the Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,  
V. V. Dokuchaiv Kharkiv National Agrarian University,  
«Dokuchaevske-2», Kharkiv region, Kharkiv district, 62483,  
e-mail: [achasov.ab@gmail.com](mailto:achasov.ab@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2446-3707>;

**Alla Achasova,**

PhD (Biology), Associate Professor,  
National Scientific Center «A. N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry»,  
4 Chaykovskaya str., Kharkiv, 61024,  
e-mail: [alsisa971@gmail.com](mailto:alsisa971@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>;

**Arkadiy Siedov,**

Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,  
V. V. Dokuchaiv Kharkiv National Agrarian University,  
e-mail: [shakhmet1985@gmail.com](mailto:shakhmet1985@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0604-4015>

## THE USE OF DIGITAL ELEVATION MODELS FOR DETAILED MAPPING OF SLOPE SOILS

**Formulation of the problem.** The current stage of agricultural development in Ukraine requires highly informative soil maps.

One of the directions for creating such maps is the use of digital elevation models (DEM) as a spatial translator of soil characteristics.

The literary review has showed that despite the large volume of publications on this topic, a number of issues of soils digital mapping remain relevant.

**The purpose of the article** is to study the possibilities of using relief-ground indicative models in creation of detailed digital ground maps.

**Methods.** The research was conducted on the territory of the testing ground. During the field study of the landfill, it has been established that the soils are represented by chernozem typical of varying erosion degrees.

It is proposed to use a xeromorphism coefficient for the quantitative account of the landforms influence on soil formation, characterizing changes in hydrothermal conditions for a particular section of the topography, compared with the horizontal surface.

A detailed DTM was obtained, using the "Phantom 3" UAV. The derivative models of a number of topographic parameters were built on its basis later. A digital model of xeromorphism of the territory was built, transformed into a model of organic carbon (C) content.

The specified map shows initial conditions of the soil cover. It can be used as a standard to compare parameters of modern soils for assessment of extent of their degradation.

Comparison of this map with the map of actual C content has shown that average loss of C by soils of the studied area owing to anthropogenic degradation can be estimated at 5.1 kg on 1 t of the soil.

**Results.** Investigations have proved that the geoinformation analysis of landforms allows to quantitatively shape hydrothermal conditions of soil formation for a certain territory. The cartographic materials constructed on such a methodical approach characterize landscape potential on soil formations and reflect quasi-virgin land condition of the soil.

**Scientific novelty and practical significance.** The detailed soil maps, based on the results of field and laboratory soil studies, leading to potential soil assessment for DEM analysis in the article, allow to adequately estimate and objectively represent distribution of eroded and xeromorphic soils and their complexes on sloping lands.

**Keywords:** soil, map, geographic information systems, digital surface model, organic carbon, chernozem soil, erosion.

### References

1. *Obschesoyuznaya instruktsiya po pochvennyim obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepolzovaniya* [All-Union instructions for soil surveys and compilation of large-scale soil maps of land use] (1973). M, Kolos, 94.
2. Tykhonenko D.H., Horin M. O., Heorhi A. O. *ta in.* (2001). *Kartohrafiya gruntiv* [Cartography of soils]: navch. posibnyk za red. D. H. Tykhonenka, vyd-vo Kharkivskiy derzhavnyi ahrarniy universytet im. V.V.Dokuchaieva. Kharkiv, 321.

3. Achasov A.B. (2009). *Gruntovo-geoinformatsiini zasady protyeroziinoi optymizatsii ahrolandshaftiv: teoriia i praktyka [Soil-geoinformation principles of anti-erosion optimization of agro-landscapes: theory and practice]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. sils. nauk: spets. 06.01.03 «Ahrogruntoznavstvo i ahrofizyka»*. Kyiv, 40.
4. Kostyichev P. A. (1949). *Pochvyi chernozemno yoblasti Rossii, ih proishozhdenie i sostav [Soils of the chernozem region of Russia, their origin and composition]*. M, Gos. izd-vo selskohoz. lit-ryi, 239.
5. Vyisotskiy G. N. (1906). *Ob oroklimaticheskih osnovah klassifikatsiipochv [About the oroclimatic basis of soil classification]*. *Pochvovedenie*, 1, 1-18.
6. Demek Ya (1977). *Teoriya sistem i izuchenielandshaftov [Systems theory and studied of landscapes]*. Progress. M., 223.
7. Dzherrard A. Dzh. (1984). *Pochvyi i formyrelefa [Soil and landforms]*. Nedra. L., 204.
8. Furley P. (1971). *Relationships between slope form and soil properties developed over chalk parent materials. Slopes, from and process. Ins. Br. Geograp. Spes. Publ, 3, 141-146.*
9. Bishop, T.F.A., Minasny, B. (2005). *Digital soil-terrain modelling: the predictive potential and uncertainty*. In: Grunwald, S. (Ed.), *Environmental Soil–Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics*. CRC Press, Boca Raton, FL, 185–213.
10. Aksoy, E., Özsoy, G. and Dirim, S.M. (2009) *Soil Mapping Approach in GIS using Landsat Satellite Imagery and DEM Data*. *African Journal of Agricultural Research*, 4, 1295-1302. <http://www.academicjournals.org/ijournal/AJAR/article-abstract/D00C9C238184>
11. Ming, Z., Goosens, R. and Daels, L. (1993) *Application of Satellite Remote Sensing to Soil and Land Use Mapping in the Rolling Hilly Areas*. *EARSeL Advances in Remote Sensing*, 2, 34-44.
12. Dobos, E., Micheli, E., Baumgardner, M.F., Biehl, L. and Helt, T. (2000) *Use of Combined Digital Elevation Model and Satellite Radiometric Data for Regional Soil Mapping*. *Geoderma*, 97, 367-391. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00046-X).
13. Dobos, E., Montanarella, L., Negre, T. and Erika Micheli, E. (2001) *A Regional Scale Soil Mapping Approach using Integrated AVHRR and DEM Data*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3, 30-42. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85019-4](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85019-4)
14. Bell, J.C., Cunningham, R.L. and Havens, M.W. (1994) *Soil Drainage Class Probability Mapping using a Soil-Landscape Model*. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 464-470. <https://doi.org/10.2136/sssai1994.03615995005800020031x>
15. Biggs, A., Slater, B. (1998). *Using soil landscape and digital elevation models to provide rapid medium scale soil surveys on the Eastern Darling Downs, Queensland*. In: *Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science*. Montpellier, France.
16. Hammer, R.D., Young, N.C., Wolenhaupt, T.L., Barney, T.L. and Haithcoate, T.W. (1995). *Slope Class Maps form Soil Survey and Digital Elevation Models*. *Soil Science Society of America Journal*, 59, 509-519. <https://doi.org/10.2136/sssai1995.03615995005900020034x>
17. Bathgate, J.D., Duram, L.A. (2003). *A geographic information systems based landscape classification model to enhance soil survey: a southern Illinois case study*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58 (3), 119-127.
18. Schmidt, J., Andrew, R. (2005). *Multi-scale landform characterization*. *Area* 37, 341-350.
19. MacMillan, R.A., Martin, T.C., Earle, T.J., McNabb, D.H. (2003). *Automated analysis and classification of landforms using high-resolution digital elevation data: applications and issues*. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29 (5), 592–606.
20. Dobos, E., Daroussin, J., Montanarella, L. (2005). *An SRTM-based procedure to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 and 1:5 million scales*, EUR 21571 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 55 .
21. Hengl, T., Rossiter, D.G. (2003). *Supervised landform classification to enhance and replace photointerpretation in semi-detailed soil survey*. *Soil Science Society of America Journal*, 67 (5), 1810–1822.
22. Moore, I.D., Gessler, P.E. and Nielson, G.A. (1993). *Soil Attribute Prediction using Terrain Analysis*. *Soil Science Society of America Journal* 57, 443-452. <https://doi.org/10.2136/sssai1993.03615995005700020026x>.
23. Gessler, P.E., Chadwick, O.A., Chamran, F., Althouse, L. and Holmes, K. (2000). *Modelling Soil Landscape and Ecosystem Properties using Terrain Attributes*. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2046-2056. <https://doi.org/10.2136/sssai2000.6462046x>.
24. Hammer, R.D., Young, N.C., Wolenhaupt, T.L., Barney, T.L. and Haithcoate, T.W. (1995). *Slope Class Maps form Soil Survey and Digital Elevation Models*. *Soil Science Society of America Journal*, 59, 509-519. <https://doi.org/10.2136/sssai1995.03615995005900020034x>.
25. Achasov A. B. (2006). *K voprosu vliyaniya relefa na gumusirovannost chernozemov [To the question of the influence of relief on the humus content of chernozem]*. *Pochvovedenie*, 2006, 931–938.
26. McKenzie, N.J., Ryan, P.J. (1999). *Spatial prediction of soil properties using environmental correlation*. *Geoderma*, 89 (1–2), 67–94.
27. McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B. (2003). *On digital soil mapping*. *Geoderma*, 117 (1–2), 3–52.



28. Kempen, B., Brus, D.J. and Stoorvogel, J.J. (2011). Three-Dimensional Mapping of Soil Organic Matter Content using Soil Type-Specific Depth Functions. *Geoderma*, 162, 107-123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.01.010>.
29. Ten Caten, A., Dalmolin, R.S.D., Pedron, F.A. and Mendonca-Santos, M.L. (2012). Spatial Resolution of a Digital Elevation Model Defined by the Wavelet Function. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47, 449-457. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300018>.
30. Yang, Ren-Min, Zhang, Gan-Lin, Yang, F., Zhi, Jun-Jun, Yang, F., Liu, F., Zhao, Yu-Guo, Li, De-Cheng. (2016). Precise estimation of soil organic carbon stocks in the northeast Tibetan Plateau. *Scientific Report*, 1-10. <http://media.springernature.com/m685/nature-assets/srep/2016/160224/srep21842/pdf/srep21842.pdf>.
31. Duarte de Menezes, M., Silva, S. H. G., de Mello, C. R., Owens, P. R., Curi N. (2018). Knowledge-based digital soil mapping for predicting soil properties in two representative watersheds. *Scientia Agricola*, 75. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162018000200144](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162018000200144).
32. Silva, S. H. G., Owens, P. R., Silva, B. M., de Oliveira, G. C., Duarte de Menezes M., Pinto L. C., Curi N. (2015). Evaluation of Conditioned Latin Hypercube Sampling as a Support for Soil Mapping and Spatial Variability of Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal*, vol.79(2), 603-611. [https://www.researchgate.net/publication/273521274\\_Evaluation\\_of\\_Conditioned\\_Latin\\_Hypercube\\_Sampling\\_as\\_a\\_Support\\_for\\_Soil\\_Mapping\\_and\\_Spatial\\_Variability\\_of\\_Soil\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/273521274_Evaluation_of_Conditioned_Latin_Hypercube_Sampling_as_a_Support_for_Soil_Mapping_and_Spatial_Variability_of_Soil_Properties).
33. Sindayihebura, A., Ottoy, S., Dondeyne, S., Van Meirvenne, M., Van Orshoven, J. (2017). Comparing digital soil mapping techniques for organic carbon and clay content: Case study in Burundi's central plateaus. *Catena*, 156, 161-175. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S034181621730125X>.
34. Bulyigin, S.Yu., Achasov, A.B., Lisetskiy, F.N. (2012). Ispolzovanie integralnogo analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya i tsifrovyykh modeley reliefa pri kartografirovanii pochvennogo pokrova chernozemnoy zonyi [The use of integral analysis of remote sensing data and digital elevation models for mapping the soil cover of the chernozem zone]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-integralnogo-analiza-dannykh-distantsionnogo-zondirovaniya-i-tsifrovyykh-modeley-reliefa-pri-kartografirovanii-pochvennogo>.
35. Minasny, B., McBratney, A.B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*, 32 (9), 1378-1388.
36. Brus, D.J., Heuvelink, G.B.M. (2007). Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma*, 138 (1-2), 86-95.
37. Moore ID, Gessler PD, Nielsen GA, Peterson GA (1992). Terrain analysis for soil-specific crop management. In *proceedings book, A workshop on research and development issues, Minnesota Extension Service, 12-16 April, 27-57*.
38. Bayramin I (2001). Using geographic information system and remote sensing techniques in making pre-soil survey. In *proceedings book, 15th Int. symposium on desertification ISD. Soil Sci. Society of Turkey, 1317 June 2000, Konya, Turkey*.
39. Lisetskiy F. N., Chepelev O. A. (2003). Klimaticheskaya obuslovlennost pochvoobrazovaniya v Tsentralnom Chernozeme [Climatic conditionality of soil formation in the Central Chernozem Region]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya i geokologiya*, 2003, 2, 15-23.
40. Shpedt A. A., Purlaur V. K., Mihaylenko N. V., Kuzmin P. V. (2004). Vliyanie mezoreliefa na produktivnost zernovykh kultur i plodorodie chernozema Krasnoyarskoy stepi [The effect of mesorelief on the productivity of grain crops and fertility of the chernozem soil of the Krasnoyarsk steppe]. *Pochvovedenie*, 10, 1228-1234.
41. Miller J. O., Galbraith J. M., Daniels W. L. (2004). Soil Organic Carbon Content in Frigid Southern Appalachian Mountain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:194, 203.
42. Chinilin A.V., Savin I.Yu. (2018). Krupnomasshtabnoe tsifrovoe kartografirovaniye sodержaniya organicheskogo ugleroda pochv s pomoschyu metodov mashinnogo obucheniya [Large-scale digital mapping of soil organic carbon content with using machine learning methods]. *Byul. Pochv. in-taim. V.V. Dokuchaeva*, 91, 46-62, doi: 10.19047/0136-1694-2018-91-46-62.
43. Achasov A.B. (2008). Vykorystannia tsyfrovyykh modelei reliefu pry doslidzhenni gruntovoho pokryvu [Use of digital models of relief in the study of soil cover]. *Visnyk KhNAU. Ser. «Gruntoznavstvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo, lisove hospodarstvo»*, 1, 157-159.
44. Siedov A.O. (2018). Mozhyvosti vykorystannia BPLA serednoho tsinovoho segmentu dlia kartohrafuvannia silskohospodarskykh resursiv [Possibilities of use of the UAVs of the average price segment for mapping of agricultural resources]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazkhina. Seriya «Ekolohiia»*, 18, 22-29.
45. Achasov A.B. (2006). Deyaki aspekty formalizatsiyi gidrotermal'nykh umov gruntoutvorenniya [Some aspects of the formalization of hydrothermal conditions of soil formation]. *Visnyk agrarnoy nauki*, 9, 17-21.
46. Achasov A. B. (2006). K voprosu vliyani yareliefa na gumusirovannost chernozemov [To the question of the influence of relief on the humus content of chernozem]. *Pochvovedenie*, 9, 931-938.
47. Polupan M. I., Solovei V. B., Velychko V. A. (2005). Klasyfikatsiia gruntiv Ukrainy [Classification of soils of Ukraine]: za redaktsiieiu doktora silskohospodarskykh nauk M. I. Polupana. *NNTs "Instytut hruntoznavstva ta ahrokhimii imeni O. N. Sokolovskoho, Kyiv*.

UDC 911.3:338.4

*Volodymyr Stefanovych Grytsevych,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,

Ivan Franko National University of Lviv,

PO Box 2137, Lviv-7, 79007, Ukraine,

e-mail: [gvsmsg@ukr.net](mailto:gvsmsg@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0278-7332>;

*Khrystyna Yevgenivna Podvirna,*

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of International Economics and Investment,

Lviv Institute of Economics and Tourism,

8 Mentsynskiyi str., Lviv, 79007, Ukraine,

e-mail: [khrystyna.pod@gmail.com](mailto:khrystyna.pod@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0828-9078>;

*Mariana Igorivna Senkiv,*

PhD (Geography), Assistant of the Department of Tourism, Lviv Polytechnic National University,

130 General Chuprynka str., Lviv, 79057, Ukraine,

e-mail: [mariana.i.senkiv@lpnu.ua](mailto:mariana.i.senkiv@lpnu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2146-3456>

## MOTOR TRANSPORT NETWORK IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE AS A FACTOR OF TOURISM INDUSTRY DEVELOPMENT

**В. С. Грицевич, Х. Є. Подвірна, М. І. Сеньків. АВТОТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ЯК ЧИННИК РОЗВИТКУ ТУРИСТИЧНОЇ ГАЛУЗІ.** У представленій статті вивчено суспільно-географічні особливості взаємного впливу автотранспортної мережі великого міжобласного регіону та туристичної галузі цього ж регіону. Охарактеризовано в розрізі восьми областей Західного регіону України мережу автомобільних шляхів за значенням (міжнародні, національні, регіональні та інші) і п'ятьма категоріями, середня обласна щільність автомобільних доріг загального користування, головні пункти та вузли автотранспортної мережі, представлена аналітична картосхема цієї мережі. Вивчено динаміку потоків іноземних туристів, а також туристів-громадян, які виїжджали за кордон у Західному регіоні України протягом 2000–2017 рр. Охарактеризовано рекреаційно-туристичний потенціал Західного регіону України, що свідчить про його хорошу потенційну привабливість для залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій щодо подальшого вдосконалення транспортної та туристичної інфраструктури. Виділено специфічні для регіону види туризму, які вже отримали розвиток, а також мають великі шанси для розвитку в близькому майбутньому. Проаналізовано автотранспортну доступність видів туризму за способом пересування (автомобільний, велосипедний, пішохідний, річковий) та за метою поїздки (професійно-діловий, пізнавальний, оздоровчий, паломницький, ностальгійний, рибальський, мисливський) для усіх п'яти категорій автомобільних доріг, а також для місцевості поза дорогами. Отримані відповідності мають загальний трендовий характер і дозволяють існування винятків для окремих унікальних ситуацій. З'ясовано, що види туризму, виділені за способом пересування, можна лінійно впорядкувати відповідно до переважаючої категорії автомобільних доріг. Встановлено, що види туризму, виділені за метою поїздки, також можна лінійно впорядкувати відповідно до переважаючої категорії автомобільних доріг.

**Ключові слова:** автотранспорт, дороги, мережа, туризм, потік, доступність, область, регіон.

**В. С. Грицевич, К. Е. Подвірна, М. І. Сеньків. АВТОТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ЗАПАДНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.** В представленной статье изучены общественно-географические особенности взаимного влияния автотранспортной сети большого межобластного региона и туристической отрасли этого же региона. Охарактеризована в разрезе восьми областей Западного региона Украины сеть автомобильных дорог по значению (международные, национальные, региональные и другие) и пяти категориям, средняя областная плотность автомобильных дорог общего пользования, главные пункты и узлы автотранспортной сети, представлена аналитическая картосхема этой сети. Изучена динамика потоков иностранных туристов, а также туристов-граждан, выезжавших за границу в Западном регионе Украины в течение 2000-2017 гг. Произведён анализ рекреационно-туристического потенциала Западного региона Украины, свидетельствующий о его хорошей потенциальной привлекательности для привлечения внутренних и внешних инвестиций по дальнейшему совершенствованию транспортной и туристической инфраструктуры. Выделены специфические для региона виды туризма, которые уже получили развитие, а также имеют большие шансы для развития в ближайшем будущем. Проанализирована автотранспортная доступность видов туризма по способу передвижения (автомобильный, велосипедный, пешеходный, речной) и по цели поездки (профессионально-деловой, познавательный, оздоровительный, паломнический, ностальгический, рыболовный, охотничий) для всех пяти категорий автомобильных дорог, а также для местности вне дорог. Полученные соответствия имеют общий трендовый характер и допускают существование исключений для отдельных уникальных ситуаций. Установлено, что виды туризма, выделенные по способу передвижения, можно линейно упорядочить в соответствии с преобладающей категорией автомобильных дорог. Установлено, что виды туризма, выделенные по цели поездки, можно линейно упорядочить в соответствии с преобладающей категорией автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** автотранспорт, дороги, сеть, туризм, поток, доступность, область, регион.

**Formulation of the problem.** In human geography, the problem of studying the mutual influence of infrastructure and services is important. Infrastructure development can be a factor in the development of certain industries (or types of economic

activity) in the service sector. Conversely, the development of the service sector may stimulate infrastructure development to increase profits from joint activity.

### **Analysis of recent research and publications.**

The study of this issue is focused on relatively few publications. In the paper [16] the category of human and geographical knowledge of the world is proposed, the forms of volatility and organization of the world are described, the connection of the population movement with its potential is shown, and the population groups are listed in relation to its social movement. Based on the study of the transport networks in the Carpathian region of Ukraine, definitions of the concepts of a multimodal transport line, a multimodal route, a multimodal transport node and related concepts have been given by the authors [15]. Classification of the transport nodes has been carried out, the international transport corridors of the region in connection with the multimodal routes as well as the graph of the multimodal routes of the Carpathian region of Ukraine have been studied, and the problems of their territorial organization have been discovered. The motor transport microposition in urban settlements in the Western region of Ukraine has been studied and its impact on transport and logistics activities in the region has been analyzed by the authors [13]. The topology of the motor transport network of the Western region of Ukraine has been characterized by oblasts. The relations between transport and logistics activities and characteristics of graph of the motor transport network have been established. In the paper [10] a system of mathematical and geographic models of the hotel industry of the region, a method for calculating the integral indicator of hotel establishments of the district for absolute indicators has been developed. Relative indicators of the first and second levels, the integral index of absolute features for hotel establishments of the region is analyzed, the state of international tourism in hotel establishments of Lviv oblast is studied. The paper [11] highlights contemporary regional and dynamic aspects of international tourism in the Carpathian region of Ukraine. The authors analyzed the quantitative dynamics of international tourism in this region during 2000-2010 within the administrative oblasts of the region. Administrative oblasts with a high and average share of tourists traveling abroad are indicated. A comparative description of these indicators with those of 2004 has been carried out. In the paper [19] logistic mechanisms of international tourism activity of Ukraine is analyzed, factors of development of international tourism in Ukraine, characteristics of international tourist flows and financial flows in international tourism of Ukraine are presented. The influence of international transport corridors on the development of logistics of international tourism in Ukraine is studied. In the paper [17] the authors have studied distribution of logistic companies in the oblasts of the Western Ukrainian borderland,

identified the main logistical centers within them. Transport and distribution logistics subjects in oblasts of the Western Ukrainian borderland were studied. Railway and automobile networks in western oblasts, features of railway and automobile cargo flows there have been described. The method of numerical estimation of transport and logistics potential index for the border oblasts is proposed. Transport and logistics index of the oblasts of the Western Ukrainian borderland has been calculated.

Direct relationship of global tourism growth with a significant increase in transport networks has been noted by the authors [18]. Transport is considered through various levels, including the level of interstate regulation, national government and how this affects forms of tourism, as well as marketing and management of transport operations. In addition, article [20] provides conclusions on the future of transport and tourism, including the management of environmental impacts and new forms of tourism related transport. The article analyzes vehicles used by the largest tour operators in Poland. The study is based on in-depth analysis and use of tourism and transport resources. The results show a large concentration of services for organized tourist traffic on a small number of wholesale transport intermediaries. In general, the analysis shows the leisure travel market in Poland, as being in the early stages of development.

**Selection of previously unsettled parts of the general problem.** In this research the motor transport infrastructure of the region as part of general infrastructure is considered, and tourism industry of the region as part of service sector. This allows to specify and to study in-depth the peculiarities and specifics of the mutual influence of the motor transport network and specific types of tourism in the Western region of Ukraine.

**Formulating the purpose of the paper.** The purpose of the paper is to analyze the motor transport network in the Western region of Ukraine from the point of view of geography and population and to identify the most developed types of tourism in the region as well as their geospatial interdependence.

### **Presentation of the main research material.**

*Motor transport network in the Western region of Ukraine.*

The network of public automobile roads in the Western region of Ukraine (Fig. 1) is 42,308.2 km, 98.2% of which have a hard covering.

Lviv and Khmelnytskyi oblasts have the largest length of public automobile roads in the region, Chernivtsi and Zakarpattia oblasts have the smallest length. Ivano-Frankivsk and Chernivtsi oblasts have 00% hard cover automobile roads. This indicator is lower in Zakarpattia (99.7%), Ternopil (99.5%),

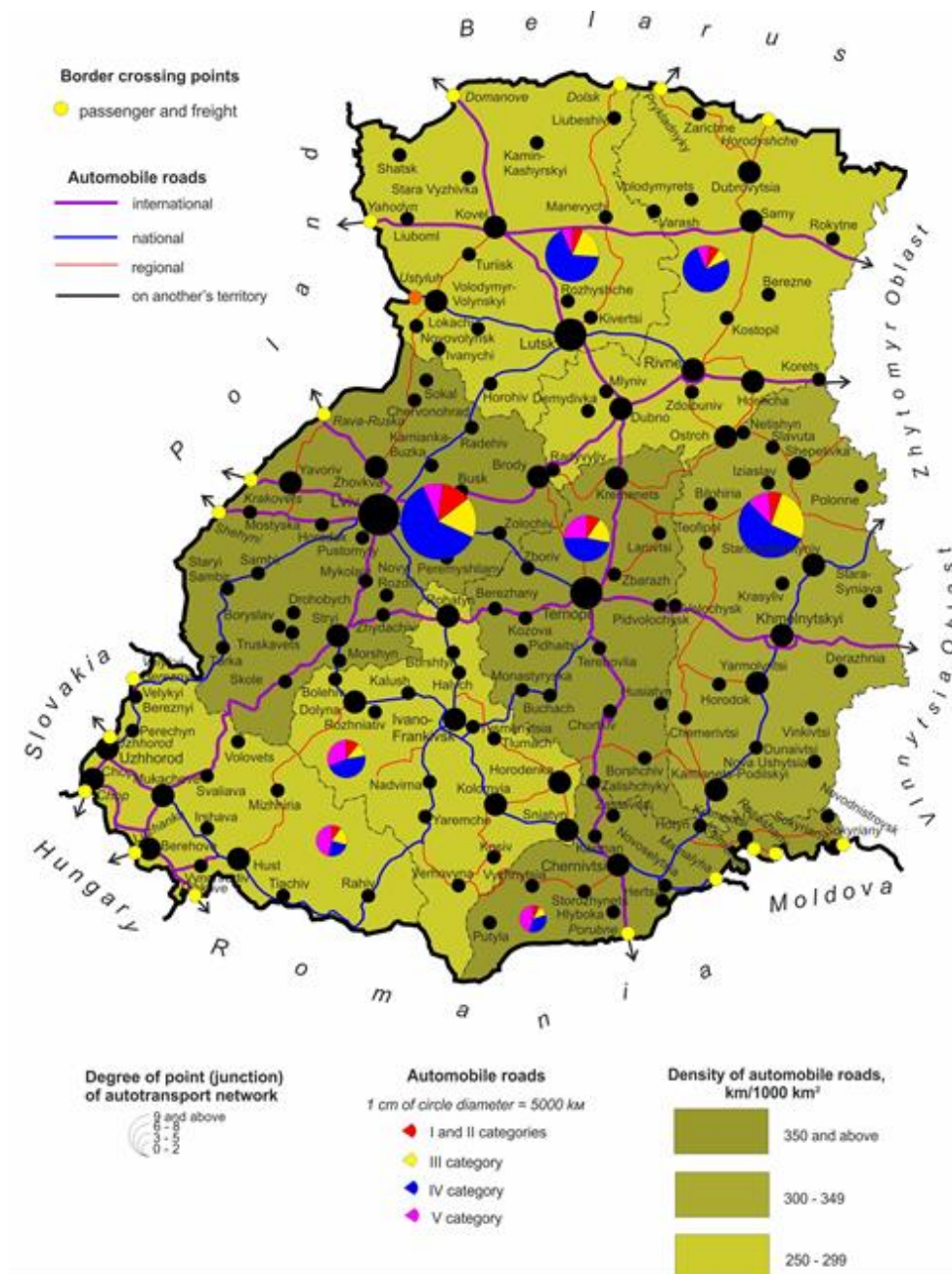


Fig. 1 Average density of public automobile roads in the Western region of Ukraine

Khmelnytskyi (99.3%), Rivne (98.6%), and Lviv (97.9%) oblasts. The lowest share of hard covered automobile roads is in Volyn oblast (92.9%).

The average density of public automobile roads in the Western region of Ukraine is 322 km/1000 km<sup>2</sup>. The maximum values of public automobile roads density are typical for Lviv, Ternopil, Chernivtsi, and the minimum values – for Rivne and Zakarpattia oblasts. The average density of public automobile roads with hard covering for the Western region of Ukraine is 317 km/1000 km<sup>2</sup>. As in the case of public automobile roads, maximum values of the density of automobile roads with hard covering are typical for Lviv (376 km / 1000 km<sup>2</sup>), Ter-

nopil (359 km / 1000 km<sup>2</sup>), Chernivtsi (358 km / 1000 km<sup>2</sup>), the minimum – for Rivne (253 km / 1000 km<sup>2</sup>) and Zakarpattia (261 km / 1000 km<sup>2</sup>) oblasts.

There is a direct interdependence between the indicators of the average density of public automobile roads and the number of hotel business enterprises in the Western region of Ukraine. The number of hotel enterprises located in these oblasts (Lviv, Chernivtsi oblasts) increases with the increase in the density of public automobile roads. The exception is Ivano-Frankivsk and Zakarpattia oblasts with rather moderate average density of public automobile roads compared to other administrative oblasts and a



large number of hotel enterprises.

The maximum length of international automobile roads is in Lviv oblast, national – in Ivano-Frankivsk and Lviv oblasts, regional – in Khmelnytskyi and Ivano-Frankivsk oblasts, and territorial – in Khmelnytskyi, Volyn and Lviv oblasts. The automobile roads of I and II categories, technical parameters of which correspond most closely to modern European and world requirements, are 3987.7 km in the Western region of Ukraine, that is, 9.6% of the total length of the roads. Lviv oblast has the highest rate of such roads in the region – 26% of the total length of such automobile roads in the region. The lowest rate of automobile roads of I and II categories is in the Chernivtsi oblast (6% of the length of these roads in the region). Almost in all oblasts of the Western region of Ukraine automobile roads of IV category predominate, while in Zakarpattia and Chernivtsi oblasts V category roads predominate.

*Development of tourism in the Western region of Ukraine.*

Tourism industry traditionally is one of the specialization areas in the economy of the oblasts in the Western region of Ukraine. In the tourism market, the region is distinguished by a significant proportion of sanatorium and spa establishments (about 8% of the total). There therapeutic rehabilitation is provided by about 11% of all healthcare establishments in Ukraine. The average indicator of use of places in these establishments reaches the level of 31-55%. A significant proportion of hotel-type facilities (about 10% of the total) take about 8% of all tourists served in the country. However, the indicator of the hotel base is rather low (19-22%). Tour operators and travel agencies occupy 8% of the nationwide number, while locals now serve more than 8% of foreign tourists (Fig. 2), of which 6% are in Lviv oblast.

Western region of Ukraine is attractive by the

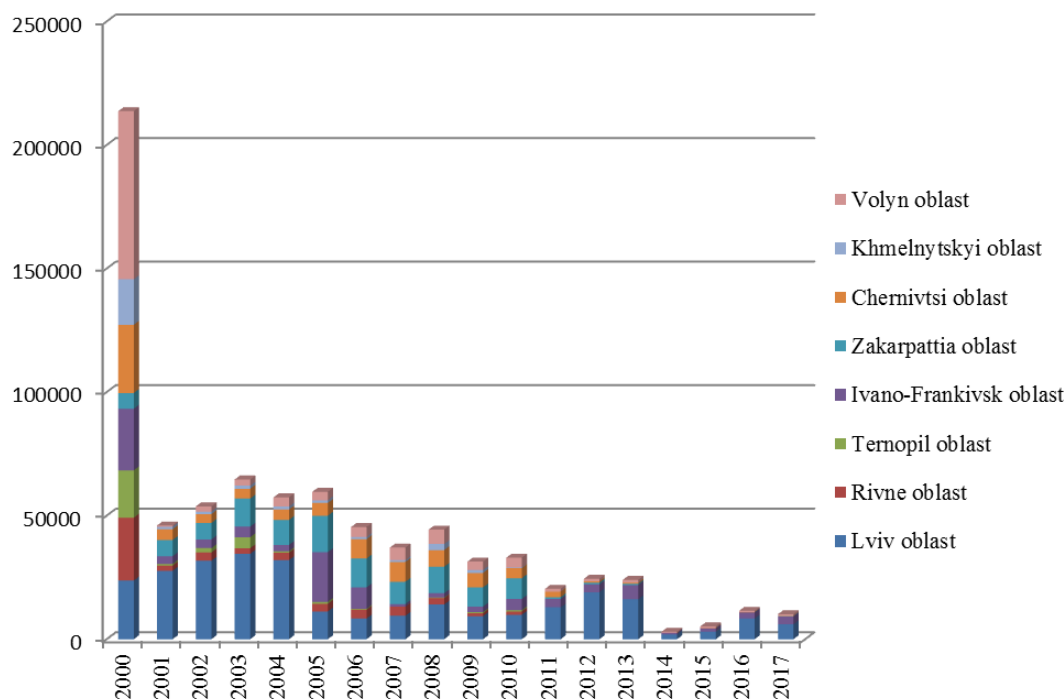


Fig.2. Dynamics of foreign tourists flows in the Western region of Ukraine, 2000-2017

following types of tourism: pedestrian, cycling, automobile, river, fishing, hunting, health, cognitive, professional and business, pilgrimage, nostalgic.

The health segment is one of the leading tourism industries in the Western region of Ukraine. Balneological and climatotherapeutic establishments provide a relatively high level of medical and preventive services. In Lviv and Ivano-Frankivsk oblasts there is a network of tourism areas with a significant concentration of such objects. These are, in particular, Truskavets (35 institutions), Morshyn (18), Opir and Stryi Valley (Slavske), Roztochya

(Nemyriv). In Ivano-Frankivsk oblast there are areas on the territory of the so-called Velykyi Yaremche (Yaremche, Mykulychyn and Vorokhta), as well as Kosiv, Sheshory and Dolyna. In Zakarpattia oblast, the tourism and receptive base is concentrated throughout the territory. Significant clusters of sanatorium and resort facilities are only in some resorts, such as Polyana, Synyak and Chynadiyevo, and recreational facilities – in the valley of the Uzh river in Mizhhirya.

The total length of the pedestrian paths is several hundred kilometers. However, there is no more

detailed information on this issue, except for data on the length of roads in the territory of national parks and the Carpathian Biosphere Reserve. The most pedestrian trails have no indication, or it is outdated. In addition, there are a small number of well-equipped places for recreation. This is especially important on the hiking trails leading to the peaks of Chornogora and on the popular tourist trails on the Polonynskyi ridge, in the Gorgany and Beskydy.

Cycling tourism has become successful only in recent years, with the gradual spread of mountain bikes. There are too few adapted and marked bicycle tracks, located mostly in the vicinity of the towns of Skole and Yaremche.

Particular attention deserves river tourism, which is experiencing a kind of regeneration in the region. The appearance of modern equipment (kayaks, canoes, etc.) has created new opportunities for this kind of tourism on the Cheremosh, Prut, Stryi, Tysa and Dnister. Now the most popular are rafting and water slides on the Prut and Cheremosh. It is advisable to borrow Polish experience in using the rivers for this type of tourism in terms of identifying and streamlining tracks (parking and dock, hire points).

The Western region has significant opportunities for the development of hunting tourism due to a high degree of afforestation and rich fauna. Hunting is mainly engaged in special state and military forestry (Roztochya, Skolivski Beskydy, Gorgany), equipped with places for hunting and hunting lounges.

Another feature of the development of tourism industry in the region is cognitive tourism, which covers the main cities with many historical and cultural attractions, as well as architectural monuments. At the same time, there are certain obstacles and difficulties for more intensive development of certain types of cognitive tourism, such as the lack of auxiliary infrastructure of the appropriate level of service. At present, the drawbacks are the absence (except Lviv) of tourism information points near objects, special identification of routes of city tours and information tables near objects that damages the tourist image of cities and settlements of the Western region of Ukraine. In cities (raion centers) there is a community base no higher than the average standard (2-3 stars), as well as moderate prices per night. There are also problems associated with the organization of city walking routes, ensuring the proper functioning of museum institutions. There is a rich spiritual culture in Western Ukraine – ethnic customs and rituals, folk crafts (bedding, wickerwork, wood carving, weaving, straw weaving, traditional sheep breeding, authentic cuisine, etc.). The monuments of architecture IX-XX centuries – constructions of Lviv, Zhovkva, Pidhirtsi, Galych,

Uzhgorod, Mukachevo, Khotyn, Chernivtsi, archaeological monuments of international importance – Trypillya settlements on the Dnister, Old Slavonic settlements in Stilske, Plisnesk, Zvenygorod, Vasyliv, Neporotove, Ruhotyń; the remnants of the ancient Galych in Krylos, the ruins of the rocky fortresses in Spas, Urych, Rozgirche, Bubnyshche, have particular importance for the development of cultural tourism. With regard to excursions to castles in Lviv and Zakarpattia oblasts, their readiness to accepting foreign tourists is considerably inferior to European models. The only exceptions are the castles in Olesk and Mukachevo, Uzhhorod, Zbarazh. In others restoration and upgrading works are in progress, there are no exhibits available for inspection, and the adjacent territories are not well-organized. In addition, there is a lack of proper attendant support and accommodation and gastronomic base of the appropriate level.

Special development in the region has become cognitive tourism by natural tourism objects, due to a network of national parks and six landscapes (Sianskyi, Polyanytskyi, Halytskyi, Dnister Canyon, Verhniodnistrovski Beskydy, “Znesinnya” in Lviv). There are dozens of nature reserves, among which: Reserve of the Dovbush Rocks (Bubnyshche), Urytski Rocks, Maniavskyi Falls, Narcysy Valley, Europe Center (Dilove near Rakhiv). In recent years, tourism infrastructure has been prepared and modernized in national parks: natural museums, thematic trails (national parks Yavorivskyi, Carpathian, Uzhanskyi) have been created. However, it would be advisable to create a network of trails and didactic-ecological centers, through which it is possible to conduct classes on the promotion of protected areas. There are six national parks in the region – Shatskyi, Yavorivskyi, Beskydy Skolivski, Synevyr, Uzhanskyi, Carpathian Biosphere Reserve, which allow developing specialized tourism (observation of nature, hunting with a camera, pedestrian, cycling, river tourism, etc.).

Nostalgic travel is an important component of the region's tourism development. Numerous monuments of nostalgic tourism continue to require support from the international community, funds for reconstruction and adaptation for the purpose of nostalgic tourism. These are the castles in Zhovkva, Pidhirtsi, Nevytske and Korolevo, as well as Jewish cemeteries and German village settlements in Lviv and Ivano-Frankivsk oblasts.

At the same time, as the direction of professional and business tourism, the Western region of Ukraine is popular among business people of the Ukrainian capital. This is probably due to the fact that traveling from other regions of Ukraine can take from 16 to 24 hours. However, the Western region is often used for motivational trips (ski tours as rew-

ards for best employees or partners).

The largest centers of pilgrimage tourism in the Western region of Ukraine are St. George's Cathedral, the Assumption Church, the Polish Cathedral in Lviv, the Krekhiv Monastery (near Lviv), the Goshiv Monastery (Ivano-Frankivsk oblast). Zaryvnytsya, located in Ternopil oblast, Zimnenskyi Svyatogorskyi Monastery (Zimne village of the Volyn oblast), Holy Trinity Mezhyrtskyi Monastery XV-XVII centuries (Mezhyrich village, Rivne oblast), Holy Trinity Koretskyi Monastery XV-XVII centuries (Rivne oblast), Holy Trinity Dermanskyi Monastery, Fort XV-XVII centuries (Derman village, Rivne oblast), Svyatouspenska Univska Lavra (Peremyshlyany raion, Lviv oblast), Maniava Monastery (Ivano-Frankivsk oblast), Pidkaminets Monastery (Brody raion, Lviv oblast) are also worth visiting.

The development of automobile tourism is facilitated by the border oblast of the region, a network of automobile roads of national and international importance, as well as the intensive increase in the number of car owners in Ukraine over the last decade. In this connection, the development of road infrastructure is required. In recent years, the number of gas stations, service stations, motels, hotels, bars and cafes has considerably increased. However, the quantity and quality of the offered services is extremely insufficient. Given the regional situation at the intersection of international automobile roads, roadside infrastructure should increase at least several times to reach the level of neighboring countries. In order to revive international tourism, it is necessary to increase the number of border crossing points. According to the standards of the European Union, one border crossing point should be approximately 30 km border, whereas in the border oblasts of Ukraine, the distance between them is three or even four times higher.

Western oblasts in the Ukrainian tourism market have their specialization, formed on the basis of the range and level of services provided to tourists, as well as price policy. The tourism product of the region as a package, including visits, overnight stay, meals and transport, on the one hand, has retained its traditional specificity. On the other hand, it has gained new features related to innovations reflecting resource potential, as well as world trends. Traditional products, such as staying on holiday resorts, skiing, sightseeing, are now complemented by new ones, such as ethnically sentimental (visitors from neighboring countries and the Ukrainians living abroad), conference and ethnographic tourism.

*Mutual influence of the motor transport network and tourism industry of the Western region of Ukraine*

The analysis of transport and tourism spheres shows correspondences between them. There are many ways and criteria for classification of tourism types and here the focus is on two: the way of travel and the purpose of travel. The results of the analysis of correspondences are presented in two tables. They have a general trend character, allowing exceptions to certain unique situations. In parallel, it turns out that the types of tourism, highlighted by the way of travel, can be linearly arranged in accordance with the prevailing category of automobile roads.

Table 1 shows the trend correspondences between the types of tourism that are allocated by way of travel and are presented in the Western region of Ukraine and their accessibility in the main categories of automobile roads in the region. The last column "No automobile roads" in this table (and the following) concerns the territories of the region where there are no automobile roads. Categories of automobile roads are formulated by the last classification of 2006.

Table 1

Motor transport accessibility of types of tourism by the way of travel

Way of travel \ Types of tourism	On international automobile roads	On national automobile roads	On regional automobile roads	On territorial automobile roads	On local automobile roads	No automobile roads
Automobile	+	+	+	+	+	
Cycling		+	+	+	+	
Pedestrian			+	+	+	+
River						+

The automobile type of tourism uses travelling on all available automobile roads. However, on local automobile roads their quality can be rather low, but this is offset by the opportunity to see the deep-seated highly attractive tourism objects. Traveling by car requires not only automobile roads, but also refueling and service stations.

Cycling type of tourism is localized on all types of automobile roads, except international. In some situations, fragments of cycling travels out the automobile roads are possible along the routes of existing trails in the area.

Pedestrian tourism logically avoids large automobile roads and tends to be difficult for transport

areas, as well as to places where there are no roads of any kind at all.

River tourism in general is not tied to the network of automobile roads. Exceptions may be intersection points of rivers with motorways.

Table 2 shows the trend correspondences between the types of tourism that are allocated by the purpose of travel and are typical for the Western region of Ukraine and their accessibility in the main categories of automobile roads in the region. In parallel, it turns out that the types of tourism, allocated for the purpose of travel, can be linearly arranged in accordance with the prevailing category of automobile roads.

Table 2

Motor transport accessibility of tourism by the purpose of travel

Way of travel Types of tourism	On international automobile roads	On national automobile roads	On regional automobile roads	On territorial automobile roads	On local automobile roads	Out of the automobile roads
Professional and business	+	+	+			
Cognitive		+	+	+	+	
Health		+	+	+	+	
Pilgrimage			+	+	+	
Nostalgic			+	+	+	
Fishing					+	+
Hunting					+	+

Professional and business tourism logically tends to the administrative and business centers, which lie on the automobile roads of high and average level. Cognitive and health tourism are formally below the level. There is a difference between them because cognitive tourism tends to natural and historical and cultural objects, and health tourism tends to specialized health centers, mainly resorts, located in environmentally clean, distant from major motorways, areas.

Pilgrimage and nostalgic tourism occupy predominantly lower levels of road hierarchy, with some nostalgic travels to larger cities.

Fishing and especially hunting tourism logically tends to areas that are out of the automobile roads.

### Conclusions

Density of public automobile roads in the Western region of Ukraine is quite high. In oblasts, in general, it corresponds to the level of tourism industry development (except Zakarpattia). The terri-

torial gravity of the hotel business and tourist flows to the places of the developed network of automobile roads with amendment to the mountain areas of the Ukrainian Carpathians is observed.

According to the categories of automobile roads in the Western region of Ukraine, Lviv oblast has the best position, while Chernivtsi oblast has the worst position. The automobile roads of I and II categories, technical parameters of which correspond most closely to modern European and world requirements, are only 9.6% of total length of the roads in the Western region of Ukraine.

In the background of Ukraine, the Western region is allocated a large share of sanatorium and spa establishments (8%), a significant proportion of hotel-type objects (10%), a large share of all tourists (8%), and the same rate of foreign tourists.

The Western region of Ukraine is attractive for pedestrian, cycling, automobile, river, fishing, hunting, health, cognitive, professional and business, pilgrimage, nostalgic tourism.



An important factor in the development of tourism in the Western region of Ukraine is its border position on important trans-border motorways.

Western oblasts in the Ukrainian tourism market have their specialization, which is formed on the basis of the range and level of services provided to tourists, as well as price policy.

There is a trend correspondence between the

types of tourism, allocated by way of travel and the prevailing category of automobile roads. Similarly, the dependence between the types of tourism, allocated for the purpose of travel and the prevailing category of automobile roads, is revealed. In both cases, the totality of tourism types can be linearly arranged according to the categories of roads, including a zero category “no automobile roads”.

### References

1. Головне управління статистики в Івано-Франківській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ifstat.gov.ua/>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
2. Головне управління статистики у Волинській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rv.ukrstat.gov.ua>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
3. Головне управління статистики у Закарпатській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/turism/tur\\_protoki.pdf](http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/turism/tur_protoki.pdf). – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
4. Головне управління статистики у Львівській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/year/2016/t249916\\_1.pdf](http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/year/2016/t249916_1.pdf). – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
5. Головне управління статистики у Рівненській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rv.ukrstat.gov.ua>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
6. Головне управління статистики у Тернопільській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.te.ukrstat.gov.ua/files/T/T1.htm>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
7. Головне управління статистики у Хмельницькій області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.km.ukrstat.gov.ua/ukr/index.htm>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
8. Головне управління статистики у Чернівецькій області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cv.ukrstat.gov.ua/>. – 11.05.2018 р. – Загл. з екрану.
9. Грицевич, В.С. Географія людини в інформаційному суспільстві [Текст] / В.С. Грицевич // Регіон–2011: Стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Харків: РВВ Харківського національного ун-ту ім. В.Н. Каразіна, 2011. – С. 21–23.
10. Грицевич, В.С., Подвірна, Х.Є. Готельні заклади Львівщини та їхня діяльність на прикладі міжнародного туризму [Текст] / В.С. Грицевич, Х.Є. Подвірна // Часопис соціально-економічної географії. – 2012. – Вип. 12(1). – С. 97–101.
11. Грицевич, В.С., Подвірна, Х.Є. Міжнародний туризм у Карпатському регіоні України: регіональні аспекти та розвиток [Текст] / В.С. Грицевич, Х.Є. Подвірна // Науковий вісник Волинського національного ун-ту ім. Лесі Українки. Географічні науки. – 2012. – №18. – С. 170–175.
12. Грицевич, В.С. Проект залізничної круїзної діяльності на прикладі Західного регіону України [Текст] / В.С. Грицевич // Перспективи розвитку індустрії туризму в Україні: матеріали міжвузівської викладацької науково-практичної конференції, 5 грудня 2013 року. – Львів: ЛІЕТ, 2014. – С. 23–26.
13. Грицевич, В.С., Сеньків, М.І. Топологія і метрика автотранспортного простору, як чинник транспортно-логістичної діяльності [Текст] / В.С. Грицевич, М.І. Сеньків // Геополітика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Том 10, Вып. 2. – С. 483–488.
14. Грицевич, В.С., Сеньчук, Х.В. Історико-географічні особливості розвитку залізничної мережі в Західному регіоні України [Текст] / В.С. Грицевич, Х.В. Сеньчук // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Географія. – 2008. – №2. – С. 6–12.
15. Грицевич, В.С., Сеньчук, Х.В. Полімагістралі Карпатського регіону України [Текст] / В.С. Грицевич, Х.В. Сеньчук // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Географія. – 2011. – №2. – С. 78–83.
16. Грицевич, В.С. Суспільно-географічне пізнання світу як наукова категорія і важлива сфера людської діяльності [Текст] / В.С. Грицевич // Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення: зб. наук. праць. – Херсон, 2009. – С. 133–136.
17. Grytsevych, V., Senkiv, M. Transport and logistic potential of the Western Ukrainian borderland [Text] / V. Grytsevych, M. Senkiv // Journal of Geography, Politics and Society. – 2017. – Vol. 7 (2). – P. 81–86.
18. Feng, Z. Tourism and Transport: Modes, Networks and Flows [Text] / Z. Feng // Tourism geographies. - 2010. - Vol. 12 (4). – P. 579-582.
19. Podvirna, Kh. Logistical aspects of international tourism activity of Ukraine [Text] / Kh. Podvirna // World Science. Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Abu-Dhabi (UAE), 2016. – P. 52-55.
20. Taylor, Z., Ciechanski, A. Transport means and organised tourism: empirical evidence from Poland [Text] / Z. Taylor, A. Ciechanski // Geographia Polonica. – 2016. – Vol. 89 (4). – P. 485–504.

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

UDC 911.3:338.4

*Volodymyr Stefanovych Grytsevych,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Ivan Franko National University of Lviv,  
PO Box 2137, Lviv-7, 79007, Ukraine,

e-mail: [gysmg@ukr.net](mailto:gysmg@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0278-7332>;

*Khrystyna Yevgenivna Podvirna,*

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of International Economics and Investment,  
Lviv Institute of Economics and Tourism,  
8 Mentsynskiy str., Lviv, 79007, Ukraine,

e-mail: [khrystyna.pod@gmail.com](mailto:khrystyna.pod@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0828-9078>;

*Mariana Igorivna Senkiv,*

PhD (Geography), Assistant of the Department of Tourism, Lviv Polytechnic National University,  
130 General Chuprynka str., Lviv, 79057, Ukraine,

e-mail: [mariana.i.senkiv@lpnu.ua](mailto:mariana.i.senkiv@lpnu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2146-3456>

## **MOTOR TRANSPORT NETWORK IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE AS A FACTOR OF TOURISM INDUSTRY DEVELOPMENT**

**Formulation of the problem.** Infrastructure can be a factor of certain industries' development in the service sector. Conversely, the development of the service sector may stimulate infrastructure development.

**Analysis of recent research and publications.** Most of the research is devoted to issues of infrastructure and services separately, but not to the mutual influence of infrastructure and services.

**Selection of previously unsettled parts of the general problem.** For studying the peculiarities of the mutual influence of the motor transport network and specific types of tourism in the Western region of Ukraine the motor transport infrastructure was considered as part of general infrastructure and tourism industry as part of service sector.

**Formulating the purpose of the paper.** The purpose of the paper is the human and geographical analysis of the motor transport network of the Western region of Ukraine and spreading of the most developed types of tourism in the region in order to identify the features of their geospatial interdependence.

**Presentation of the main research material.** The network of public automobile roads in the Western region of Ukraine is rather dense, which corresponds to the level of development of the tourism industry in the oblasts. There is a territorial gravity of the subjects of the hotel business and tourist flows to the places of a developed network of automobile roads.

In order to analyze the motor transport and tourism spheres for correspondences between them, two classification criteria of types of tourism are selected: according to the way of travel and the purpose of travel. The types of tourism identified for each criterion can be linearly ordered in accordance with the predominant category of automobile roads.

**Conclusions.** Automobile type of tourism uses the ways of travel on all available automobile roads. Cycling type is localized on all types of automobile roads, except international motorways. Pedestrian tourism tends to places where there are no roads of any class at all.

Business tourism tends to the administrative and business centers that are on the priority automobile roads. Cognitive tourism tends to the natural, historical and cultural objects, while health tourism tends to the specialized health centers, mainly resorts. Pilgrim and nostalgic tourism occupy mostly lower levels of the hierarchy of automobile roads, although some nostalgic travels can be found in large cities. Fishing and, especially, hunting tourism tends to areas with no automobile roads.

**Keywords:** motor transport, roads, network, gravity, tourism, flow, oblast, region.

### **References**

1. Main Statistical Office in Ivano-Frankivsk oblast. Available at: <http://www.ifstat.gov.ua>.
2. Main Statistical Office in Volyn oblast. Available at: <http://www.lutsk.ukrstat.gov.ua>.
3. Main Statistical Office in Zakarpattia oblast. Available at: [http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/tourism/tur\\_potoki.pdf](http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/tourism/tur_potoki.pdf).
4. Main Statistical Office in Lviv oblast. Available at: [http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/year/2016/t249916\\_1.pdf](http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/year/2016/t249916_1.pdf) 24.
5. Main Statistical Office in Rivne oblast. Available at: <http://www.rv.ukrstat.gov.ua>.
6. Main Statistical Office in Ternopil oblast. Available at: <http://www.te.ukrstat.gov.ua/files/T/T1.htm>.
7. Main Statistical Office in Khmelnytskyi oblast. Available at: <http://www.km.ukrstat.gov.ua/ukr/index.htm>.
8. Main Statistical Office in Chernivtsi oblast. Available at: <http://www.cv.ukrstat.gov.ua>.

9. Grytsevych, V.S. (2011). *Human Geography in the Information Society. Optimal development strategy*, 21-23.
10. Grytsevych, V.S, Podvirna, Kh.E. (2012). *Hotel establishments of Lviv oblast and their activities on the example of international tourism. Journal of Social and Economic Geography*, 12 (1), 97-101.
11. Grytsevych, V.S, Podvirna, Kh.E. (2012). *International tourism in the Carpathian region of Ukraine: regional aspects and development. Scientific herald of the Volyn National University named after Lesia Ukrajinka. Geographical Sciences*, 18, 170-175.
12. Grytsevych, V.S. (2014). *The project of railway cruise activity on the example of the Western region of Ukraine. Prospects for the development of the tourism industry in Ukraine: materials of the Interuniversity Teaching and Practical Conference. Lviv (Ukraine)*, 23-26.
13. Grytsevych, V.S, Senkiv, M.I. (2014). *Topology and metric of motor transport space as a factor of transport and logistics activity. Geopolitics and eco-geodynamics of the regions*, 10 (2), 483-488.
14. Grytsevych, V.S, Senchuk, Kh.V. (2008). *Historical and geographical features of the development of the railway network in the Western region of Ukraine. Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University. Geography*, 2, 6-12.
15. Grytsevych, V.S, Senchuk, Kh.V. (2011). *Polymagistrals of the Carpathian region of Ukraine. Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University. Geography*, 2, 78-83.
16. Grytsevych, V.S. (2009). *Human and geographical knowledge of the world as a scientific category and an important sphere of human activity. Regional problems of Ukraine: geographic analysis and the search for solutions*, 133-136.
17. Grytsevych, V., Senkiv, M. (2017). *Transport and logistic potential of the Western Ukrainian borderland, Journal of Geography, Politics and Society*, 7 (2), 81–86.
18. Feng, Z. (2010). *Tourism and Transport: Modes, Networks and Flows. Tourism geographies*, 12 (4), 579-582. doi:org/10.1080/14616688.2010.516767.
19. Podvirna, Kh. (2016). *Logistical aspects of international tourist activity of Ukraine. International Scientific and Practical Conference "World Science" (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development")*. Abu-Dhabi (UAE), 1, 52-55.
20. Taylor, Z., Ciechanski, A. (2016). *Transport means and organised tourism: empirical evidence from Poland. Geographia Polonica*, 89 (4), 485-504. <https://doi.org/10.7163/GPol.0070>.

UDC 711.433:004.9+004.451+911.3

*Sergiy Vasylovych Kostrikov,*

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;  
EOS Data Analytics Ukraine, LLC, 31 Alchevskiy St., Kharkiv, 61002, Ukraine,  
e-mail: [sergiy.kostrikov@eosda.com](mailto:sergiy.kostrikov@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

## URBAN REMOTE SENSING WITH LIDAR FOR THE SMART CITY CONCEPT IMPLEMENTATION

*С. В. Костріков. ДИСТАНЦІЙНЕ ЛАЗЕРНЕ ЗОНДУВАННЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА». У статті розглядається методологічна послідовність впровадження Концепції «Розумного Міста» (КРМ) - від удосконалення і подальшого розвитку її окремих теоретичних положень до визначення заходів щодо її практичної імплементації через ГІС-моделювання і просторовий аналіз міського (урбанізованого) середовища на підставі даних дистанційного лазерного зондування.*

*На підставі значного літературного огляду розглядаються як запити і виклики щодо досліджень урбанізованих територій, взагалі, так і щодо КРМ, зокрема. Робляться уточнення і узагальнення окремих положень цієї концепції. Урбогеосистемний підхід подається сталою методологією, яка може суттєво додати до успішної реалізації КРМ. З точки зору цього підходу наводиться авторська дефініція категорії «Розумне Місто».*

*Розроблена і подається методична послідовність робочого процесу «дистанційне зондування – лідар – ГІС» для формалізованого відтворення «розумного міського середовища». Розглядаються ГІС-інтерфейс та функціональність оригінального програмного веб-застосування із обробки лідар-даних. Зокрема, подається домашня веб-сторінка з трьома головними функціональними інструментами: Виокремлення архітектури забудов та іншої інфраструктури міста; Визначення динамічних змін у міських забудовах; Генерація топографічної поверхні міста. У якості тільки кількох із множини можливих прикладів розглядаються п'ять сценаріїв (use cases – англ.) застосування програмного забезпечення для впровадження КРМ. На завершення узагальнюються результати дослідження, робиться наголос на необхідності розробки ключового компонента системи підтримки прийняття рішень - бази геоданих для «урбанізованого геоінформаційного простору».*

*Ключові слова:* лідар, дистанційне лазерне зондування, урбанізоване середовище, геопросторова площина концепції «Розумне Місто», інтерфейс і функціональність веб-застосування ГІС, сценарії застосування програмного забезпечення, система підтримки прийняття рішень.

*С. В. Костриков. ДИСТАНЦИОННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ «УМНОГО ГОРОДА». В статье рассматривается методологическая последовательность реализации Концепции «Умного Города» (КУГ) - от усовершенствования и дальнейшего развития ее отдельных теоретических положений до определения по определению мер по ее практической имплементации посредством ГИС-моделирования и пространственного анализа городской (урбанизированной) среды на основании данных дистанционного лазерного зондирования.*

*На основании значительного литературного обзора рассматриваются как проблемные моменты и вызовы, касающиеся исследований урбанизированных территорий, вообще, так и относящиеся к КУГ, в частности. Делаются уточнения и обобщение отдельных положений этой концепции. Урбогеосистемный подход предлагается в качестве устойчивой методологии, которая может существенно поспособствовать успешной реализации КУГ. С точки зрения этого подхода дается авторская дефиниция категории «Умный Город».*

*Разработана и представлена методическая последовательность рабочего процесса «дистанционное зондирование – лидар – ГИС» для формализованного моделирования «умной городской среды». Рассматриваются ГИС-интерфейс и функциональность оригинального программного веб-приложения для обработки лидар-данных. В частности, представлена домашняя веб-страница с тремя основными функциональными инструментами: Выделение архитектуры застроек и другой инфраструктуры города; Определение динамических изменений в городских застройках; Генерація топографічної поверхні міста. В качестве только нескольких из множества возможных примеров рассматриваются пять сценариев (use cases – англ.) применения программного обеспечения для реализации КУГ. В завершение обобщаются результаты исследования, подчеркивается необходимость разработки ключевого компонента системы поддержки принятия решений - базы геоданных для «урбанизированного геоинформационного пространства».*

*Ключевые слова:* лидар, дистанционное лазерное зондирование, урбанизированная среда, геопространственный аспект концепции «Умный Город», интерфейс и функциональность веб-приложения ГИС, сценарии применения программного обеспечения, система поддержки принятия решений.

**Introduction of the problem.** Global urbanization remains one of the most challenging present and future problem in the world. Moreover, the humankind probably still has not realized the multiple dimensions of this phenomenon. The world urban population has increased dramatically from 751 million in nineteen fifty to 4.2 billion in two thousand eighteen, according to the document issued by UN DESA [1]. This report also emphasizes that, despite its relatively lower level of urbanization in Asia,

there are located up to 55% of the urban population of the world. There are numerous intriguing facts about the cities over the globe in different publications that merit attention. Thus, the tenth part of the population lived in thirty metropolises several year ago yet, while six hundred of cities possessed the world population quarter then [2]

Thus, the continuing significant growth of urban population all over the world, but, first of all, in Africa, Asia, and Latin America, forces us to seek

for new advances in the Urban Studies domain, what primarily means to involve new approaches and techniques in the Information Technology and Urban Remote Sensing. Since the majority of developing countries are situated in the Tropical and Sub-tropical geographical belts, the drastic effects of that local urbanization on the tropical environment and the global climate deserve the closest attention [3]. Thus, remote sensing data processing and modeling tools, that may assist in urban studies, can hardly be overvalued. The First Earth Observation Summit issued in 2003 a declaration to organize the ad hoc international Group on Earth Observation (ad hoc GEO). The GEO plan has established a framework paper announcing the Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) and outlined nine areas of its social benefits [4]. Quite a few publications have appeared since then, which contribute to the GEO Strategic Plan, while one of the most significant texts among all of them, in our opinion, is a book on remote sensing on sustainability [5].

GEO started a working plan a “Global Urban Observation and Information” Initiative since 2016. The top-managers of this initiative arranged six main aims for the period up to 2025 [6]. The key features of the contemporary urban development have caused a number of challengers that require the innovative technological introductions in urban studies. These challengers and the innovations have been already summarized in one of our previous papers [7]:

- With prompt development and changes of urbanization process, the studies of urban systems are also becoming more and more complicated;
- The number of cities increased and the urban territories have been enlarged with a rapid speed, especially in developing countries;
- Fast growing regions with extensive urban constructions become more and more numerous;
- A necessity for accurate terrain models for urban planning or related sophisticated spatial data processing becomes quite understandable;
- A need for effective automated buildings survey to determine quantity and quality characteristics of architectural changes that took place over time is accepted as a mandatory component of urban monitoring;
- Precise environmental surveys over the key cities in the regions with extensive remote sensing data analysis should be regularly provided.

Despite the urban areas cover only 2% of the globe surface in the latest years, they possess more than half of the world population, and consume up to three quarters of the total produced energy, which, in its turn, generates more than 80% of greenhouse effect [8]. Thus, it is evident that a problem of optimal development for urban settlements has been a

major problem for their residents, builders, and municipalities since past centuries. The definition of “urbanism” itself was introduced as long ago as at the end of the nineteenth century [9]. This definition was already considered then as a delineated category of transforming urban slums into the livable environment with the goals of delivering it into sustainable one. The source, we have just referred to, made an origin of quite a few publications, but the book “City: its growth, its decay, its future stands alone in this row [10]. Practically, just this book introduced the understanding of *smart cities as distinct entities*, also it employed somewhat another lexicon for description those geographical spaces intended to improve city livability and workability. That in contemporary terms means – to make a city to be more *sustainable*. Actually “Sustainable Cities” and “Digital Cities” were those intermediate benchmarks, through which “the Cities of the Future” category has been transformed into *the Smart Cities* fundamental idea [11]. The IBM Corporation was really the first institution, which began to develop the *Smart City concept (the SCC)* within the frameworks of its “Smarter Planet initiative” by the end of the first decade of this century, when the drastic economic crisis burst out [12]. The first Smart City advances have been summarized as an integration of the modern technologies, features of urban sustainability, and social implication [13].

The ultimate **research goal** of our paper is to represent an effective multifunctional approach, which would combine the author’s urbogeosystem theory [7] with the Urban Remote Sensing (URS) technique for LiDAR (Light Detection and Ranging) data processing provided by the original web-based GIS-software [14]. Such combined attempt contributes both to the theoretical clarification of a city role as a driver for all environmental and urban systems, and to the applied implementation of the Smart City Concept.

**The key elements of the Smart City concept within a geospatial perspective.** Since exactly *the geographic information of urban development* such as maps of regional topography and vegetation, infrastructural network maps and census maps is highly necessary for the SCC implementation exactly because of *this concept’s definite geospatial perspective*. Precisely this affiliation (a geospatial perspective  $\Leftrightarrow$  the Smart City concept) implies at least *three basic assumptions* and up to *five key elements*.

*Firstly*, the innovative methods, in particular, *the urban remote sensing* for the relevant geodata-base content are mandatory to be involved.

*Secondly*, the original theoretical approach, e.g., *the concept of urban geographical systems* has to be chosen for an effective processing pipeline construction in a case of a robust and consistent im-



plementation of the SCC. These both first, and second assumptions have been already highlighted in the introductory section of our paper.

Thirdly, those *key elements* of the SCC, that directly connected with its geospatial perspective, should be delineated, explained, and listed. This is being done in this section of the paper.

The huge number of publications in the SCC domain have appeared only for few recent years. It looks like to be some problem to choose the necessary core elements of this concept from a tremendous number of relevant definitions made. Due to existing thoughts, such key element as *an innovation* can be selected as a leading one in the general outline of this approach [15]. The key constituents of this extended review of the Smart Cities's working definitions include: "A city well-performing in a forward-looking way..." [16, P. 8]; "A city that monitors and integrates conditions of all of its critical infrastructures" [17]; "...connecting the physical infrastructure, the IT infrastructure, the social infrastructure, and the business infrastructure to leverage the collective intelligence of the city" [18]; "...combining ICT and Web 2.0 technology with other organizational, design and planning efforts to... help to identify new, innovative solutions to city management complexity, in order to improve sustainability and livability" [19]; "The use of Smart Computing technologies to make the critical infrastructure components and services of a city... more intelligent, interconnected, and efficient" [20].

Thus, *the innovation as the Smart City concept's first key element* is implied in one way or in another in all these five quotations mentioned above. We do accept exactly this idea, because an urban innovation can be implemented only in a *geospatial perspective of the urban space*, while this perspective is being considered in the next section of our paper. In this aspect we define a *Smart City as a comprehensive procedure of innovations within the urban trinity: 1) urban residents, 2) local infrastructural network, both municipal, and commercial, 3) urban processes and phenomenon.*

*The Smart City concept's second key element* may be selected as *its scalability*. The normal way of the SCC evolution is its moving from some particular projects to some international strategies, through which the city challenges are addressed upon different scales - national, regional, international [21]. These authors, we have just referred to, emphasize: "Thus, it has been observed that it is necessary develop a strategy within city framework to articulate projects in different dimensions in order to achieve a holistic and comprehensive vision". According to this, the *global scale* is the mandatory premise of City balance in *various dimensions*, which only can contribute to the SCC good perfor-

mance. Without the global goals, the SCC sooner of all performs quite vague projects, which results are not able to be expanded to other scales. Many researches do agree with such conclusion [13, 22-24]. The global or national scales may provide negative impact on urban sustainability and, understandably, on the SCC implementation perspectives, because of the peculiarities of the political system in a certain country, as in contemporary Russia [25].

Thus, the cities corresponding to the SCC can be displayed as *the instrumental combination across many urban scales* [26]. These technological and information instruments are connected through multiple networks in a city, and some of these networks can provide continuous data concerning the movements of human and physical capitals. From these flows of initial data, the flow of derivative data is generated, which substantially contributes to the formation of the whole city content. Nonetheless, the cities become smart, only if they provide some intelligence functions. These functions mix, integrate, and combine initial data purposely, finding the ways of enhancing the efficiency, social equity, environmental security, and long-term sustainability of residents' life in smart cities. After all, it is quite understandable, that the Smart City's scalability is also related to its geospatial perspective.

*Gathering, measuring, and mining of the spatial urban data* can be accepted as *the Smart City concept's third key element*. Flows of people, materials, and energy within urban areas can be automatically sensed for the time being due to the modern information technologies, and the data relevant are generated. This has taken place mainly for three latest decades. These data enhanced by the remote sensing information were normally gathered and displayed with geoinformation tools, firstly with desktop ones, and later on with the processing and visual systems on the web, where various urban maps used for navigation, spatial distribution values, and predicting spatial estimation were the ultimate results [27-32].

While satellite remote sensing pixel images with urban information have been significantly employed for several recent decades, the LiDAR surveying technique gradually becomes the dominant one as *both local, and regional scale sensing*, what can be available with the variety of scanning hardware and point cloud data processing software appeared mainly in two recent decades [33]. An Airborne LIDAR system usually returns a 3D cloud of point measurements from mirrored features scanned by the laser beneath the air-flight route. This three-dimensional cloud with irregular spacing reflects various discrete feature within some AOI (an area of interest). The laser-scanned features normally include *buildings*, other human infrastructure objects,

different vegetation belts (canopy and understory), and “bare earth.” To generate a Digital Elevation Model (a DEM), measurements from ground and nonground objects have to be calculated and classified. We can utilize the linear least squares interpolation technique iteratively to remove tree measurements and generate a DEM in urbanized areas.

The key premise of the involvement of the urban remote sensing in general, and the LiDAR surveying technique, in particular, as well as the employment of the geoinformation technology for the contemporary urban studies is conditioned by the fact that the *digital sensors* have become the main source of the initial information for the Smart City’s concept implementation. Modern digital sensors and GIS-technologies for the urban traffic information processing can suggest robust topological model of optimized traffic trajectories, which contribute to the sustainable urban traffic evolution [34-37]. These systematic studies are normally implemented through those gathering, measuring, and mining of the spatial urban data. Moreover, these procedures lie within already mentioned the SCC geospatial perspective too, and put together that third key element of this concept.

*The addressing environmental challengers* is considered as *the Smart City concept’s fourth key element* within its geospatial perspective, and the last but one in the list introduced in this paper section. Understandably typical challenges are *urban pollution* and *a necessity to pacify the greenhouse effect*. It is a well-known fact, large urban areas consume more, than 75% of energy generated in the world [38]. It is understandable that many studies focused on the urban environmental policy as long ago as few decades before the Smart City concept took its contemporary form. For example, the seminal book “Nature and the City” takes a look back at early nineties discussing the new policy discourse for looking at urban environmental problems within the frameworks of the ecological modernization concept [39]. This monograph highlights the case studies of environmental policy making in two big cities – Toronto and Los Angeles. The important performance of the actual environmental entities, river watersheds, in urban landscapes of both cities are emphasized, and this is only one from many examples of the geospatial perspective involvement. Addressing environmental challengers upon the SCC implementation should be provided in the most possible complex way by combining these (environmental) issues with other ones related to economic and social projects, governance, human issues and living standards [21]. Only this complex and combined outgoing derivative result can be accepted as the fundamental for the elaboration of the Smart City strategy for meeting present and future

city problems in various urban dimensions. Alternatively, some authors introduce the category of “Larger Environmental Context”, in which they include different dimensions, almost those ones, which compound various constituents of the derivative result mentioned above – economic, social, cultural, and even geopolitical issues [15, 40, 41].

*The interlink between the smart meter information and the geo-sensor information, which is used to achieve knowledge and awareness with respect to human – urban environment interactions, is the fifth key element of the SCC in the geospatial perspective.* It is the last one in our list, and the whole content of this SCC key element is reasoned by a complicated interlacement of physical and digital technologies with environmental and social phenomena in a city, while derivative information about this interlacement must be sensed, recorded and quantified [42-44]. With drastic increase of smart meter and digital sensors and completion of such entities, like the advanced metering infrastructure and the Internet of Things, a Smart City has to be equipped and covered with different networks of electronic devices. These networks must be sustainable enough with respect to the city social dynamics, and moreover – concerning probable unfavorable environmental events [45, 46].

Various sets and varieties of physical/digital sensors and digital/physical meters within a given urban area are able to contribute to functional configurations of *urban decision support systems (UDSS)* only in case, when these sensors and meters can delineate as effective picture of an urban life as it possible exactly in its *spatiotemporal context* [42, 47-49]. The spatiotemporal context of urban information is that only entity, which actually opens the geospatial perspective of the SCC. Just because of urban population high densities and concentrations in a typical city area, the latter consists of numerous interactions (*human – urban environment; human – urban infrastructure; urban infrastructure – urban environment*) between urban citizens and their surroundings and produces extremely complicated view of *the human geographical phenomenon* of a given city. An UDSS mentioned above if planned to be involved in the SCC implementation should have an option to register the dynamics of those interaction within different city districts, on different dates, and at different times. Only upon these conditions a complete geospatial perspective can be seen on the base of the empirical urban information gathered from sensor networks.

Thus, we have outlined in this paper section following *five key elements* of the Smart City concept in the geospatial perspective: *Innovations; Scalability; Data gathering, measuring, and mining; Addressing environmental challengers; Interlink*

between the smart meter information and the geosensor information.

In two following sections we, first of all, examine more in details one from three basic assumptions of the “geospatial perspective  $\Leftrightarrow$  Smart City concept” affiliation - the *urbogeosystem approach*. Then we consider involvement of five key elements delineated in building the city geospatial information space.

**The urbogeosystemic approach as a tool for simulating the “smart urban environment” – a core node of the Smart City hierarchy.** The author of this paper has already published several texts in the concept of urban geographic systems for few recent years [7, 50-53]. As the key premise of the urbogeosystemic approach the *theory of cities as systems of systems* has been taken, which was introduced as long before as in late seventies of the former century [54]. Once we did outline the category of an urban geographic system as follows. An urbogeosystem (UGS) is “... an urban system, which... not only allows providing all necessary prerequisites for GIS (a geographical information system) involvement in urban studies, but also secures detailed consideration of the most of linkages and relationships within a given area and reveals pure emergent properties...” [7, P. 110].

Although the urbogeosystemic approach has been listed above only as the *second* key assumption of the Smart City concept’s implementation within a geospatial perspective, it can be understandably accepted as *the central combining one*, which builds a bridge between the urban remote sensing and outlined above five key elements of the SCC – two other key assumptions. In this way all three ones become linked together, while a real urbogeosystem, that functionates within a certain extent of the geographical space, can be presented by the *urbogeosystemic ontological model (UOM)*. We understand the latter as some kind of a *trinity-tripod*, that strongly relies on support for and on interconnections among all three of its constituents (*urban citizens, municipal infrastructure, urbanistic processes and phenomena*), what taken all together provide that sustainable operating of a given city, which can be evaluated as “smart operating” according to several existing criteria. Moreover, the UOM facilitates to delineate *the core issue of the Smart City concept within its geospatial perspective - a place of the “smart urban environment”* in the whole hierarchy of the series of environments related to a Smart City (Fig. 1).

The author of this paper has outlined the UOM hierarchy based on what was introduced before as “smart city models” in several literature sources [11, 15-17, 26, 55-58]. Really all these models correspond to the “cities as systems of systems” theory,

according to which a smart city is a system, that consists of a number of sub-systems. The practical implementation of the SCC can be exactly started from a creation of a simulating model for a certain selected city. This simulating model is based on the urban remote sensing data, in general [59], or on the LiDAR surveying results, in particular [7, 14, 33, 50]. After a city computer model is generated, desirably, according to 3D City GML standards, the structure of the conceptual UOM of an urban geographical system outlined on the figure below is reasonable to be accepted as *the ultimate architectural design* for this model, that simulates a Smart City. If the “smart urban environment” is a core node of this targeted construction of an urbogeosystem as illustrated, then numerous technological, environmental, and socioeconomic solutions made on the way to the SCC implementation, should be oriented to outlined hierarchy of this UOM (see Fig. 1) [51].

All dimensions in one way or in another involved in the initial presentation of the urbogeosystemic approach [50-53] can be delineated in the urbogeosystemic ontological model outlined above: 1) urban remote sensing data; 2) an applicable Human Geography model; 3) digital information processed into the GIS-primitives; 4) the definite geospatial aspects of all interrelated states of urban environment delineated by this ontological model of an urbogeosystem.

In their turn, all five key elements of the SCC within its geospatial perspective can be easily found within the UOM hierarchy too: *innovations* made in the municipal infrastructure will definitely impact urban processes and local residents; *scalability* becomes an almost mandatory issue due to the necessity to provide policy and management through various spatial scales and socioeconomic scopes; *data mining* makes it possible to view the information proceeding from all three pillars (people, processes, city infrastructure) in a whole picture; *environmental challengers* are dominant in few blocks of the UOM hierarchy; and *interlink* among various sources of urban digital information is the only one, which makes this hierarchy to be sustainable one. Summarizing two first sections of our paper, that directly examine the Smart City entity, related urban phenomena, and relevant solutions, it is necessary to complete one more only issue – to attempt to outline *the Smart City category* from the urbogeosystemic approach’s point of view. As basic fundamentals for such outline can be selected those generalizing definitions, which from our point of view are the closest ones to our comprehensive frameworks [15,56, 60,61].

Thus, *the Smart City from the point of view of the urbogeosystemic approach is a city, which operates as a system of sub-systems in robust, sustaina-*

ble, and intelligent way. It is a city that possesses a comprehensive commitment to digital technologies, information managerial practice, and public policy. Three supporting pillars for such city are people –

its residents, managed urban processes, and infrastructural networks, while the core entity for a whole construction is the “smart urban environment” (see Fig. 1).

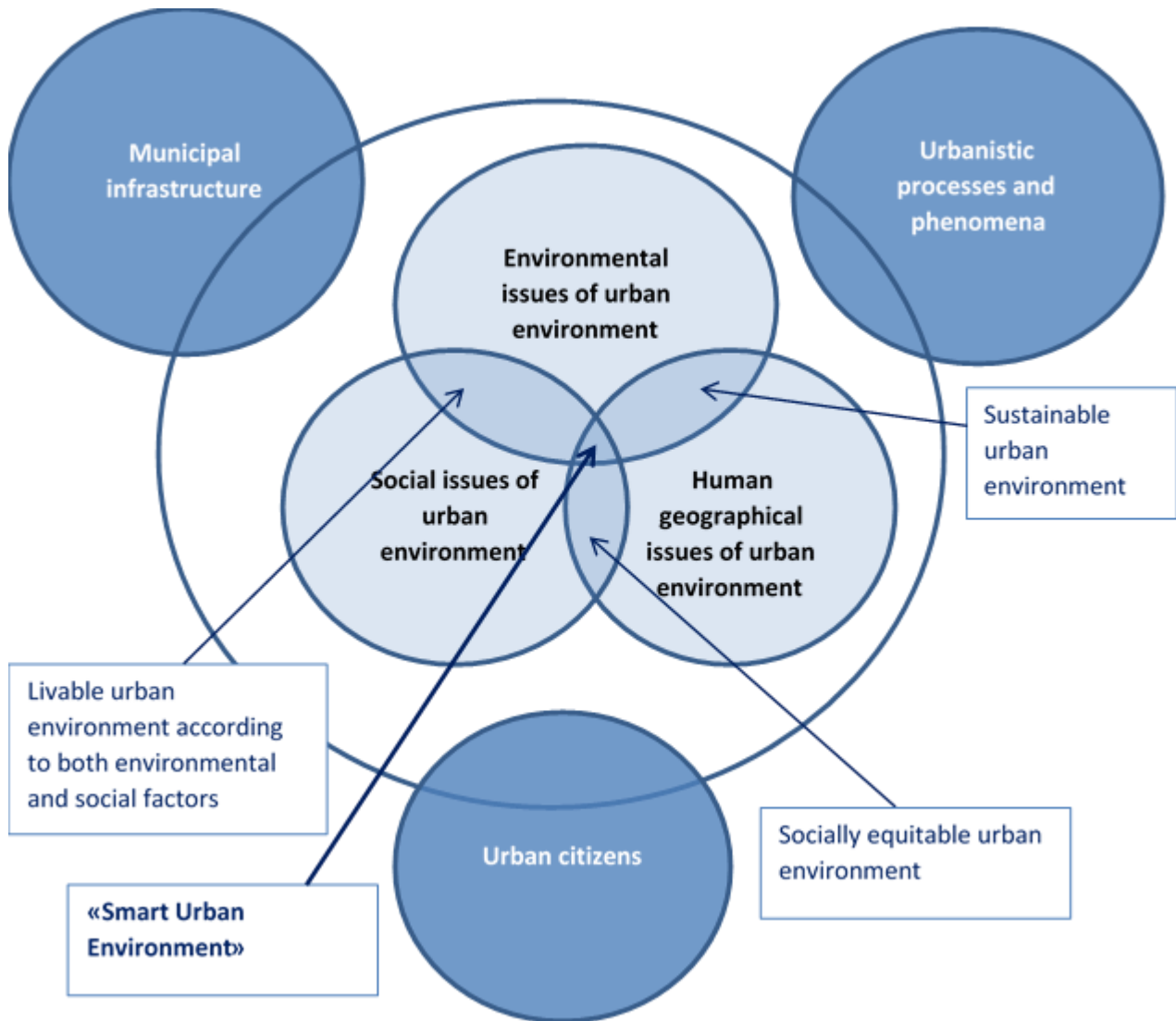


Fig. 1. An ontological model of the UGS with a place of the “smart urban environment” in the whole hierarchy of the series of environments related to the Smart City [51, P. 110]

**Processing results of LiDAR surveying technique.** Both Airborne and Terrestrial LiDAR survey have been very demanded in urban environment because of its uniqueness in comparison with other URS results. We have already explained and proved, why *3D city models* obtained from a LiDAR survey through extraction, segmentation, reconstruction, and analysis can hardly be overvalued [7, 62].

Key publications that introduced and discussed similar ideas have been issued for ten-fourteen recent years only [33, 63-67]. The automated building and other man-made feature extraction from LiDAR point clouds together with the relevant topography generation is one of the most challenging research and development goals for city monitoring procedures as well as for support the urban environment

by means of informatic software and digital networks. Airborne Laser Surveying (ALS) technique or LIDAR has become quite popular since late nineties, because it provides a fast data collection for a 3D Scene over a massive territory [68].

Contemporary research technique normally combines other data on extracting buildings or uses pre-defined building models, so that the latter would correspond to the roof structures. Surely there are quite a few alternative solutions in the literature to reconstruct the 3D buildings without any supplementary data and predefined roof styles [69]. Also, some attempts were published as long as 15 years ago, that related to use the captured data and convert them into CAD-type models, which would contain walls, roof planes and other building segment planes

as well as bare ground which can be promptly visualized from any 3D viewpoint [70].

We have already mentioned above a key subject of LiDAR applications for urban studies – *3D City Models*. Besides this the LiDAR surveying technique has been broadly used in many other urban studies, thus becoming a fundamental for the Smart City concept implementation. In the key existing reviews on LiDAR survey and its results processing for *urban land cover classification*, five basic domains have been thoroughly discussed: (1) urban architectural morphology and vegetation analysis, (2) urban flood risk assessment, (3) extracting power transmission lines and other infrastructure, e.g., bridges and roads, (4) modeling GPS/airport signal obstacles, and (5) estimation of solar radiation potential [33, 71].

All LiDAR platforms are either Airborne LiDAR (ALS) – Unmanned Aerial Vehicle (UAV LiDAR), or Terrestrial (Mobile) (MLS) ones. With drastically expanding demand for 3D city models and relevant DEMs, also taking into account increasing availability of ALS / MLS data, 3D building models of robust topology and correct geometry have become the most prominent features of urban environment modeled by LiDAR data processed [14, 33, 50, 62, 65-70, 72, 73]. Evidently, 3D city models as representations of a 3D geometry of urban environment can be obtained from quite various sources [74], but just LiDAR data accepted as the most preferable ones according to the series of understandable reasons. In general, all applied domains of LiDAR surveying techniques may be defined by three following advantages of its approach: 1) High accuracy of the geospatial data collected by LiDAR. Its Point Clouds may illustrate the location of real natural landscape / urban features in a minute details, while an infinitesimal peculiarity may make difference, and it can obscure the whole view of a 3D Scene; 2) Data through an AOI can be collected promptly, and in a costly effective way. Thus, it is possible to hold a quite accurate geospatial monitoring of large areas. This allows to identify urban change detection from multitemporal LiDAR data sets; 3) LiDAR surveying technique provides collection of raw data concerning all the features on the earth surface that belongs to three sets: inanimate nature, vegetation cover, and man-made constructions, buildings, first of all.

Summarizing 1)-3) items that directly relate to the Smart Cities solutions, we should emphasize that the key advantage of the LiDAR technique may lie in that perspective, which allows to build 3D city models within huge territories in an extremely short period of time. Just due to this fact the technology can hardly be overvalued for the *urban planning* industrial area. What is more, correct 3D city mod-

els as well as highly accurate DEMs are required for many applications implemented within urban areas including Telecom-issues and wireless communication (the line of sight calculation, optimal allocation of transmitters), emergency response planning, air / noise pollution modelling, municipal infrastructure planning. It is remarkable that all this listed generally coincides with the Smart City necessities reported not only for Western Europe [42, 46], but also for Ukraine [75], as well as for Russia [76].

Our understanding of the LiDAR processing software position in the original illustration with the comprehensive operational *URS / LiDAR / GIS* workflow for the Smart City implementation is defined on Fig. 2. This flowchart directly proceeds from all introduced in our text above.

**Urban Remote Sensing for data mining / city analytics and the EOS LiDAR Tool.** *ELiT (EOS LiDAR Tool)* software is both a separate web-based (network) generator (an engine) – *ELiT Server*, and an integrated component of EOS Platform-as-a-Service software – *ELiT Cloud*, both developed with leading participation of this paper's author [7, 14, 62, 77]. The allied one to these two products is our desktop *ElitCore* software, that possesses even broader functionality. All three mentioned products are the sophisticated solutions based on the complicated algorithms for urban environment modeling and analysis. Two products of this software family normally perform from the Web browser installed on the user's workstation. A series of *ELiT* end user's cases can be applicable with all five *ELiT* key functionalities: *BE – Building Extraction*, *BEF – Building Extraction with Footprint*; *BERA – Building Extraction Rural Area*, *CD – Change Detection*, *DEM-G - Digital Elevation Model Generation* [Fig. 3]. Some of these use cases are presented in the next section of this paper.

First of all, we have to examine briefly straightforward advantages of using this LiDAR data processing software and to outline what peculiarities would demonstrate any applied Smart City project of real data, that we attempt to complete?

In previous attempts the delivery “urban settlements into smart cities” have been considered, realized, and planned through *several levels* [26, 28, 78], and the scalability procedure mentioned in this text above could be applied then for interchange of the information obtained from various levels. By processing LiDAR data, the *ELiT* software provides huge volumes of information for different applications and reveals several attractive advantages due to applying to these urban levels, over traditional methods for mapping with other remote sensing data. *ELiT* functionalities result from that fact, according to which LiDAR data alter the whole concept of urban mapping and gaining popularity in domains



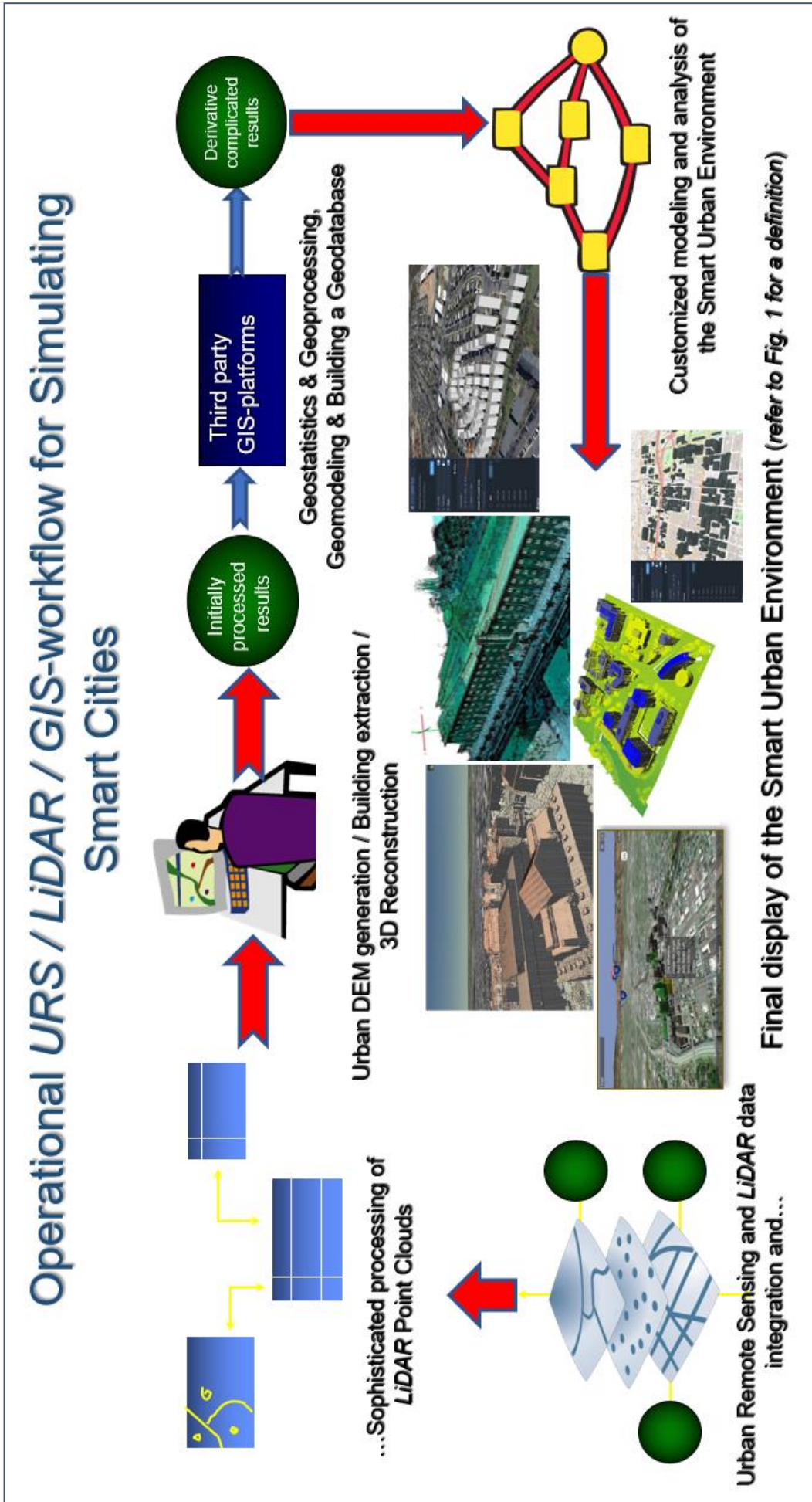


Fig. 2. An operational URS / LiDAR / GIS-workflow for simulating Smart Cities with outlining the Smart Urban Environment place in it

such as *heavy urban networking* and *massive data integration*, *pollution monitoring* and *urban land classification*. All these domains can take an advantage of combining LiDAR data and *ELiT* geoinformation functionality to provide analysis and manage, visualize, and disseminate results of *sophisticated processing of LiDAR Point Clouds* as it outlined on Fig. 2. After a block of *3D Reconstruction* a flowchart leads to the unit of *Geomodeling & Building a Geodatabase*.

The *ELiT* multifunctional approach is that key premise, which connects up all these diverse components in the robust geoinformation workflow (refer to Fig. 2). The key output of this workflow, *Final display of the Smart Urban Environment*, is the applied results of a theoretical entity presentation outlined and explained earlier (refer to Fig. 1). In this way, processing results of LiDAR surveys *ELiT* software can relate the infrastructures of smart cities to their optimal planning and further functioning through the urban decision support systems mentioned in this text above in a case, when *ELiT Server* becomes a functional component of such UDSS. Five menus of relevant sub-pages suggest then all necessary calibrated instruments for municipal solutions within three basic classes of the functionalities necessary: *Automated Feature Extraction*, *Urban Change Detection*, *Topographic Modeling & Analysis* (refer to Fig. 3).

Despite single known lame summarizing, where one could hardly see any connection between LiDAR and Smart City issues, although it attempts to provide some “direct bridge” from one to another [79], the majority of other “heavyweight” examples, if they are not directly related to the provision of LiDAR results for Smart Cities, but they suggest the definitely relevant solutions in subject areas of: 1) *solid, impervious surface extraction* in urban areas [80, 81], what, as a rule, strongly indicates marginally urbanized landscapes; 2) *quality assessment of urban environment* [33, 82]; 3) *monitoring of city alterations through change detection* [83-86]; 4) *urban feature extraction and 3D reconstruction for city planning*; there is a real “universe” of literature in this area, thus we do not make any relevant number of references in this #4, but refer only to few key ones [33, 62-64, 70, 73, 87-89]; 5) *geoscience applications for urban studies*; processing results of LiDAR scanning equipment can provide uniquely accurate topographic X, Y, and Z coordinates of the bare ground surface, including large topographic forms [90] what is highly demanded for urban housing development as well as damages from natural hazards (landslides, debris flow, earthquake damages), which can occur in city areas [91-93].

Feasible *ELiT* software use cases for the SCC implementation lie within each of 1)-5) issues and

can be provided by all five options of this web-application menu *TOOLS: Building Extraction, Building Extraction with Footprint, Building Extraction Rural Area, Change Detection, DEM Generation* (refer to Fig. 3). According to the mandatory limited volume of this paper we are able to examine only a couple of combined use cases related to *BE / BEF / BERA* functionalities.

The range of Smart City applications dealing with these *ELiT* functionalities is quite long: urban and municipal planning, environmental planning and monitoring, insurance policy and procedures, optimization of sensor placement for technological networks, locational based services, housing development simulations, shadow estimation. In all these use cases a building model can be a primary object of interest. Although the *ELiT* approach does not prescribe any semantics to these models, it is possible such simplified models to interpret city dynamics and networks by examining spatiotemporal changes, and even estimating land use and services distribution in an urban area [94]. Besides these industrial areas we can outline the necessity of building model extraction from Point Cloud *.LAS* due to following reasons:

- to generate complex city mapping products;
- to provide various building renderings;
- to perform advanced three-dimensional modeling as the first step to creating complete and multifunctional digital city models.

Low cost per a surveyed city parcel, functionality of monitoring through a large urban /rural territory promptly and with high level of details are only first few primary advantages of the robust LiDAR pipeline, that necessarily includes the *ELiT* functionalities. Joining of the global mapping coverage (e.g., ESRI imagery, Open Street Maps) with the *ELiT BE / BEF / BERA / CD / DEM-G* models expedites in easier understanding of the existing urban situation and needs much less resources for interpretation of derivative results, than traditional manual city maps, or even 2D digital cadaster units. Operational decision-making can be completed in a very prompt and cost-effective way within a given urban area with a number of multifunctional *ELiT* 3D city models.

For a few recent years most of the urban data, that can be used for understanding a smart city, have come from the GIS data collecting techniques that include 1) the satellite-enable GPS georeferencing provided for the URS procedures, 2) results of data collecting from technological networks with digital sensors, 3) results of data collecting from dense built-up areas that demonstrate a definite small-scale heterogeneity, 4) data from scanning surveying techniques that differ within a range of a whole city/

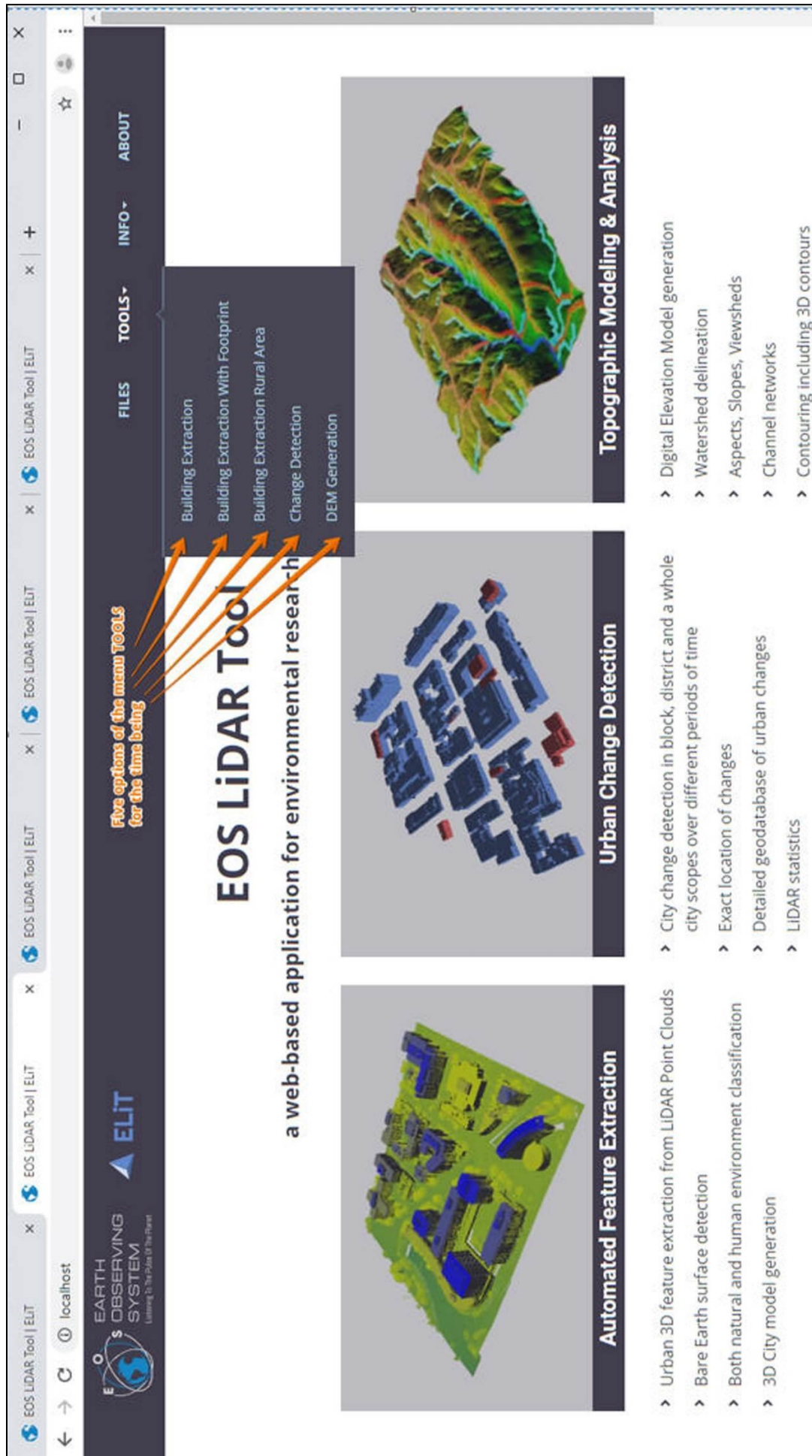


Fig. 3. The home page of the *ELiT* web-application with five *TOOLS* menu options related to the Smart City simulating procedures (<https://eos.com/eos-lidar/>)

a city district / a block scopes, and even can focus on minute city parcels, 5) data acquisition from multiple sources of different nature including on-line sensors, 6) completion of 1)-5 issues integration in *the newly geodatabases for Smart Cities*, what would correspond to *Building a Geodatabase block* of an operational *URS / LiDAR / GIS-workflow* (refer to Fig. 2).

*URS data mining / city analytics* for the Smart Cities, which consists of six relevant to urban data issues delineated above, strongly corresponds to the geospatial perspective of the Smart City concept, in general, and to five key elements of the SCC in the geospatial perspective, in particular. On the base of the following references all six issues delineated for urban data mining can be easily put in compliance with *three key subject areas* examined in our paper: *Data collection, integration, and further processing* for the SCC implementation, including spatiotemporal data management and adding data value by integration of the massive data by ICT (Information and Telecommunication Technologies) [26, 60, 95]; *Urban remote sensing*, which generates, first of all, building information, which is used for several applications directly related to the paradigm of the Smart Cities, enhancing routing URS technique by computer vision and socioeconomic approaches [93, 95, 96]; *LiDAR surveying technique* for the “smart urban environment” simulation (refer to Fig. 1) [63-68, 73, 80-93, 98, 99]. The whole framework of the URS data mining also implies the following three steps of each use case development that should take place for any *ELiT* functionality selected for the SCC implementation:

1. Selection of an appropriate functionality for a given project data requirement, taking into account the working environment, in which the given LiDAR dataset are being collected.
2. Definition of a complete and transparent approach to define uncertainty in urban modeling with respect to modeling error measurements such that the urban planning procedure bankability requirements are met.
3. Undertaking reliable and transparent comparison of the *ELiT* modeled results with the other information (a municipal cadaster, global maps, etc.) due to city buildings, infrastructures, other assets, and topographic surface.

The *Urban Planning* domain mainly is the disciplinary area of the *strategic* and *long-term* land use planning, which considers several aspects of both natural and human environments for municipalities and communities [100]. The key issue in here is that upon the SCC this subject area becomes much broader and, what is more, it triggers through URS data mining, ICT involvement and digital networks. The municipalities have to obtain an *efficient geoinformation spaces* is a mandatory pre-requisite

for planned urban growth and functioning *the system-wide effect* in operations and functions of this urban area. The only possible solution that takes this effect into account is *the join-up urban planning*, which means reliable tracking of this effect even upon the massive data integration [26, P. 491].

The effective method for meeting the coming demands in Smart Cities urban planning and management sectors is to develop *the georeferenced data of LiDAR survey web-based processing application* and a *Web GIS-platform* for the generation of 3D city models. The latter, in their turn, would significantly contribute to simulation of the completely new urban intelligence operations and functions by the modern ICT, that are provided for sustainable functioning of urban territories. Such combination (LiDAR survey + *Web-application*, e.g., *ELiT* + *GIS-platform*) can be considered as the only tool for modeling and displaying an entity, which we outline as the “Smart Urban Environment”.

**The *ELiT* software use cases for the Smart Cities.** As it has been emphasized above, only use cases related to *BE / BEF / BERA* functionalities can be briefly examined in this text. Georeferencing an urban territory and populating it with exactly allocated 3D city models make it much easier for municipal managers to understand a problem arisen under a way to a Smart City, and enables all city services for its prompt solution by geometric / topologic visualization and analysis of the *ELiT* 3D models. All use cases introduced below are strongly within an operational *URS / LiDAR / GIS-workflow* illustrated above (refer to Fig. 2).

*ELiT use case (UC) sample 1* for *common urban planning* may be displayed like follows (Fig. 4). For a given housing area (Washington, D.C., open source data from <https://aws.amazon.com/ru/blogs/publicsector/lidar-data-for-washington-dc-is-available-as-an-aws-public-dataset/>) our software would assign point objects to *one* definite class from *four* nominated (i.e. *ground, vegetation, buildings, other infrastructure*). Efficient spatial classification as an input secures further applying of thematic feature layers delineation and allows to provide the prompt visual feature analysis “on a fly”. Some alternative classes for four mentioned above may be *Buildings, Vegetation, Artificial ground, Natural ground*. Moreover, apart from buildings, there may be in derivative classifications the sets like follows: *Trees, Grassland, Bare soil, Infrastructures*. Thus, it is allowed to state that the *ELiT* representation of an urban area can meet “the overall challenge of integrating contextual information into geospatial analysis for smart cities...” [42, P. 17021], what means combining both technical, and research components in urban planning. As a final output within the frameworks of UC sample 1, a number of geometry



definition format files (either *.GLTF*, or *.KML* formats) are produced, where each file represents one separate building extracted.

All this completes a combined 3D picture of a

certain urban area, which can be almost of any size according to city borders upon applying a *scalability procedure*.

Since commonly high-resolution LiDAR data

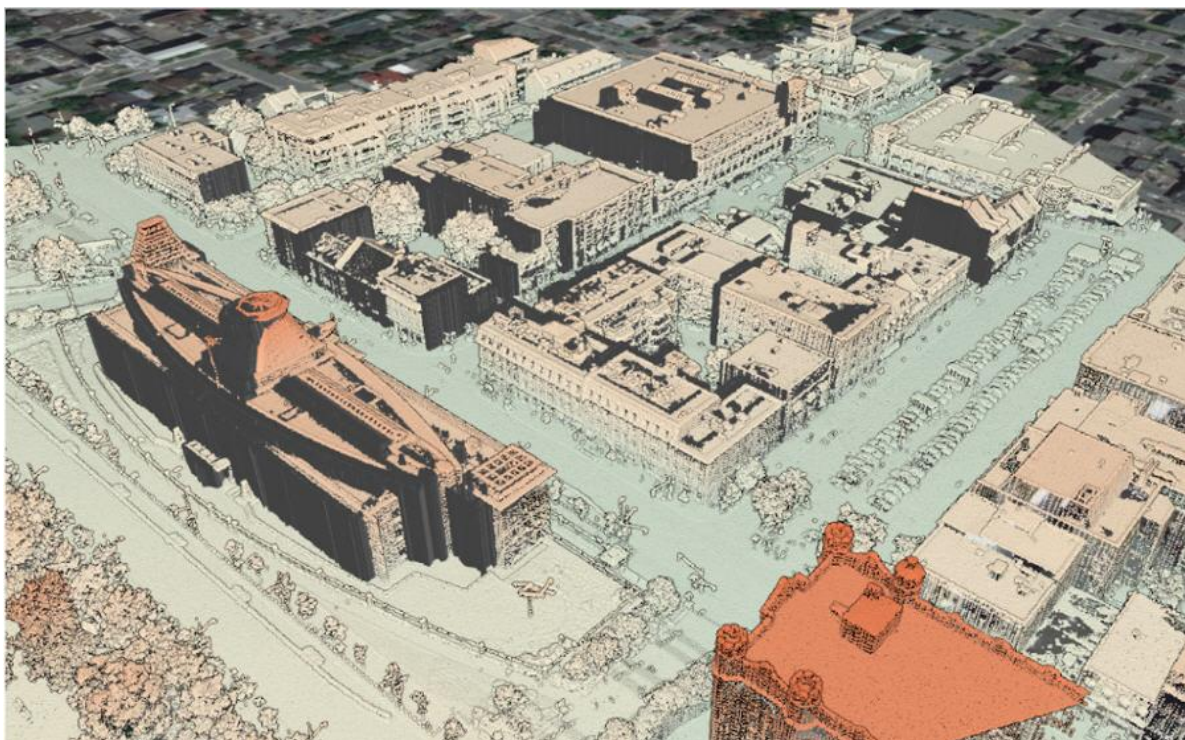


Fig. 4. Displayed results of modeling urban environment within *ELiT UC sample 1*

generated from point clouds have been proved to be the most efficient data for automated extraction of buildings in densely built-up parts of an urban territory, then a municipal manager should apply to this data in a broad application variety. Within this common municipal planning use-case for smart cities various combinations of these four thematic layers extracted and classified (*ground, vegetation, buildings, other man-made objects*) become the subjects of other use cases.

One of this use cases corresponds to *ELiT UC sample 2* in the same area of common urban planning. This UC provides the *modeled comparison of various urban environments*, what is impossible to complete otherwise than with geoinformation tools (Fig. 5). Using open source LiDAR data from the USGS (the United States Geological Society) website (<https://usgs.entwine.io>) we have compared with *ELiT* urban areas of four U.S. cities, attempting to make a preliminary estimate how far is each of them from the “smart urban environments”. There is in each of compared units a clear geoinformation context for a new housing or infrastructure development in the area. In this way, it can be visualized for urban planners not just the merits of a new feature allocation, but how it interacts with all other features that already exist.

Obviously, this comparison cannot answer more or less exactly on the question: which from four cities has gone farther on its way to the “smart urban environment”, because this would need a huge processed volume of massive attributive data. Nonetheless, by developing the relevant pattern recognition technique some approximation of such answer “on-fly” can be done even with the existing *ELiT* functionalities. Evidently, this pattern recognition can be substantially enhanced, if it takes into account human-environment-technological interactions, which have been collected using human and technical sensors.

*ELiT UC sample 3* seems to be similar to the first one of common urban planning, but focuses on *the urban asset inspection* domain (Fig. 6). For example, this urban asset inventory task should accomplish a team of municipal engineers in Montreal, Canada. These professionals have to find a quite fast and cost-effective approach to estimate the existing state of urban environment and its deviation from a “smart template”, because up to now they have access to an out-of-dated city cadaster only.

This visualization expedites to obtain a view of a combination of the high quality geometric / topological building models with their semantic attributes (refer to Fig. 3). Reaching this goal means the



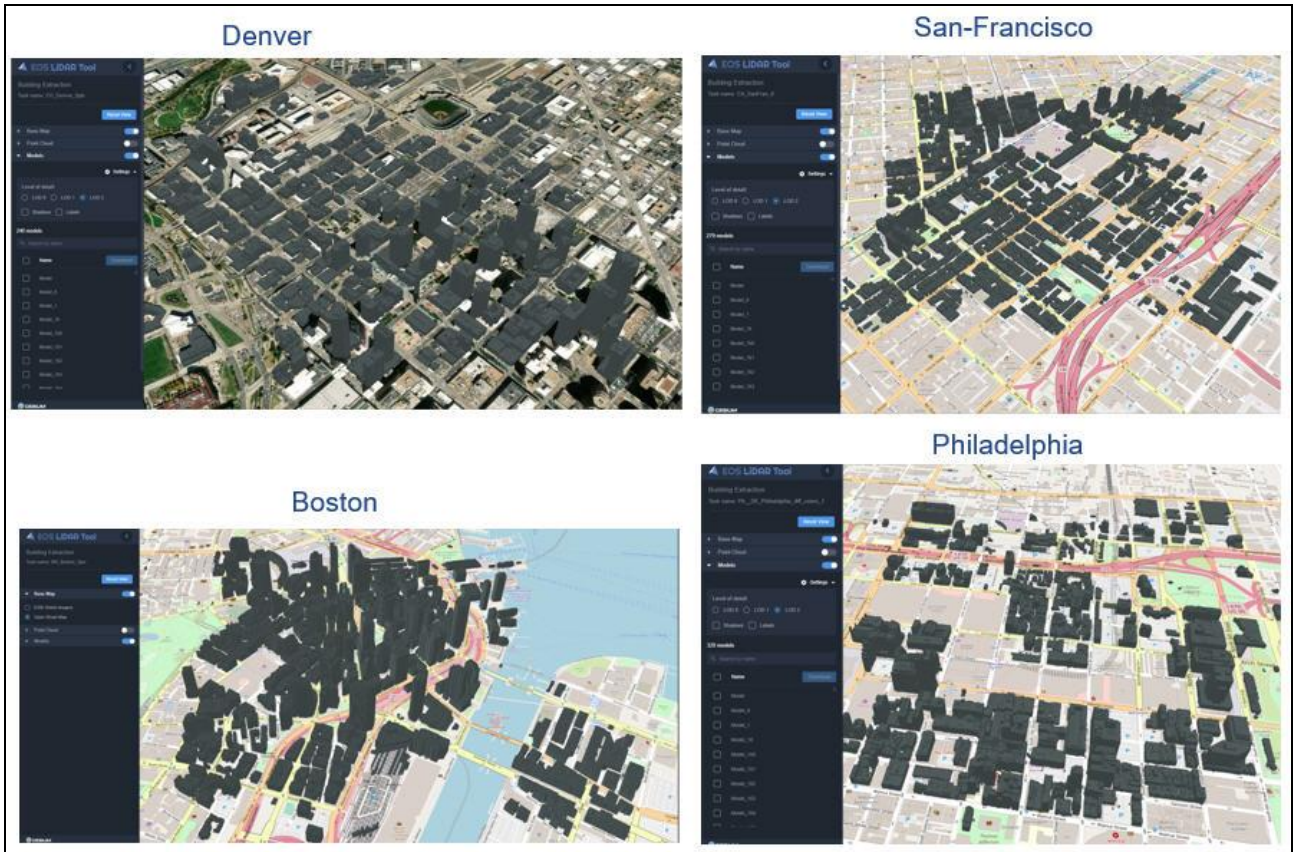


Fig. 5. Displayed results of modeling comparison of four urban environments within *ELiT UC sample 2*



Fig. 6. A complicated building model with its attributive information within *ELiT UC sample 3*



accomplishment of an urban asset inventory task. This model coupling for the particular AOI helps in better understanding the city situation over a 3D Scene, its already mentioned deviation from “smart template” and does this easier, than with routine 2D paper, or even in comparison with standardized digital maps. Municipal users-practitioners can estimate building locational design, its envelope, and local urban environment for better positioning the perspective housing constructions. What is more, any coming alterations in design and constructions can be estimated, while direct impact on its surroundings of any existing or future building can be evaluated by selecting of any particular model and getting its geometric and semantic attributes (refer to Fig. 6).

A web-visualization is a standard procedure for tourists and investors attraction to a certain city (Fig. 7). In general, the visualization and display of urban environment can be effective for displaying the particular locations of cognate clients, spatial distribution of the market demands for locational-business services, as well as the availability of free space for further housing development as in this *ELiT UC sample 4* (refer to Fig. 7) (Washington, D.C., open source data referred to above). This modeling of urban surroundings can hardly be overvalued taking into account a task of simulating “the Smart Urban Environment”, because the latter definitely characterized by complicated social and infra-

structural operational configurations and by high population density. This web-modeling and display already presented on illustrations in this paper section actually merge both spatial, and temporal scales of urban environment in this way producing not only maps and scenes for municipal planning purposes, but also – *the spatiotemporal context* [42] for the Smart City concept.

*ELiT UC sample 5* directly relates to the *3D City Automated Cadaster*. Many municipalities have been focusing in recent years on developing the real estate registration just in a 3D Cadaster to provide visions of complex property structure, including vertical belongings in buildings to different owners and underground infrastructure (e.g., tunnels, cables, and pipelines, parking lots – Fig. 8).

There are more than one seminal reference in the literature, that understanding the smart city essence is understanding *the structure of topology and geometry of its coupled networks* [26, 42, 44]. If we effectively model technological networks, as it illustrated above, we can bind to these modeled results probable associations of numerous human-environmental-technological interactions that take place in a Smart City area and outline a general geospatial basis, which should be taken as a fundamental for an urban decision support system.

**Conclusion, future research and developments.** The importance of discussing, how new approaches and techniques in urban remote sensing



Fig. 7. Modeling and display of urban environment: the detection of free space for the further housing development within *ELiT UC sample 4*

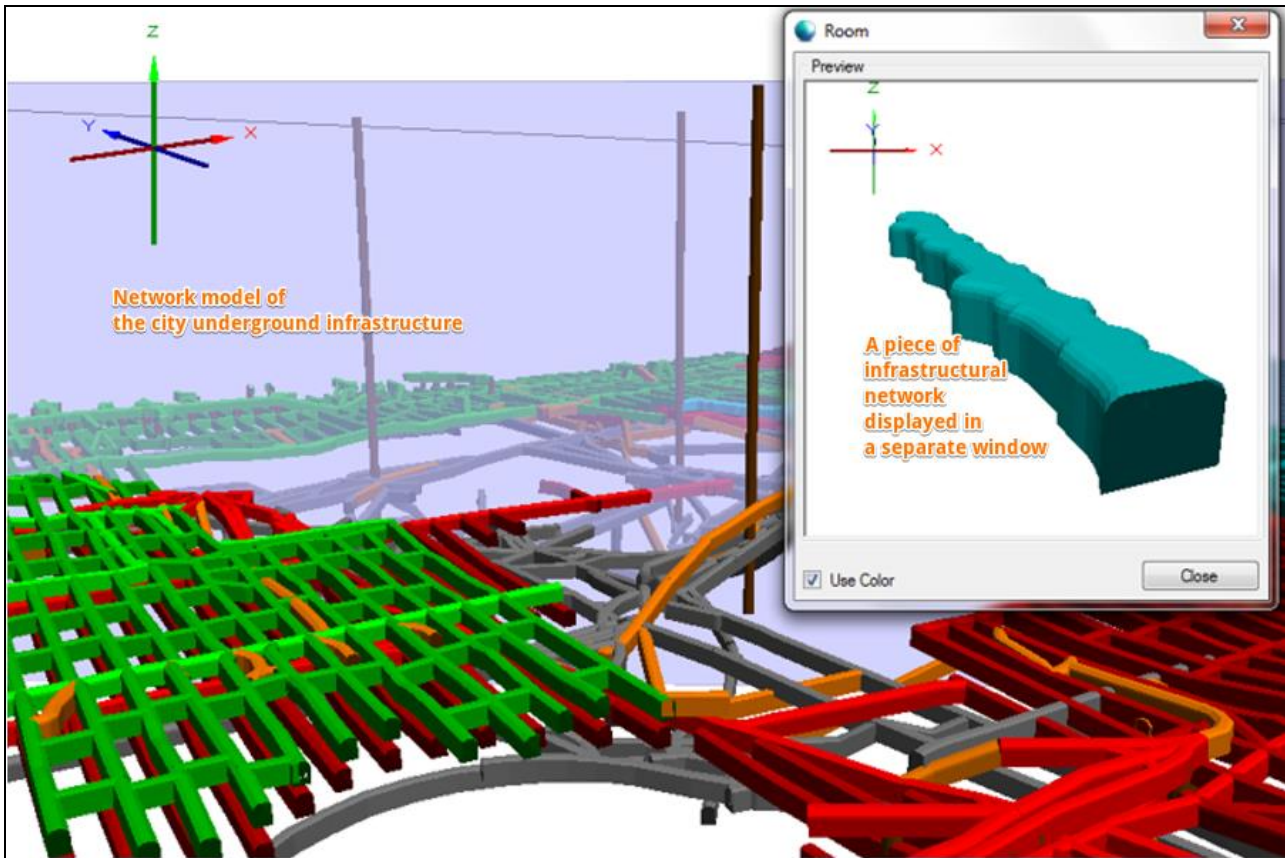


Fig. 8. Modeling and display of underground urban environment with existing infrastructural networks within *ELiT UC sample 5* (the interface of *ElitCore* desktop software)

can contribute to the development of smart cities, is more than evident. In our paper we have attempted to integrate the definitely new ideas within the geospatial perspective of the Smart City concept with LiDAR monitoring and measuring of urban environment and with a number of other relevant procedures within an operational URS / LiDAR / GIS-workflow. The concern remains as to whether or not such integration expedites the Smart City implementation into a real practice. To transform this concern into sustainable awareness we have to summarize those issues outlined in this text above, which contribute to the merits of using Urban Remote Sensing with LiDAR for the development of Smart Cities:

- Three basic assumptions and five critically examined key elements of the Smart City concept within its geospatial perspective have been delineated;
- This geospatial perspective is opened by the spatiotemporal context of urban information, and this circumstance may cause different functional configurations of an UDSS;
- A category of the “Smart Urban Environment” has been introduced within the whole hierarchy of the series of environments in the Smart City’s UGS ontological model, while the urboge-

osystemic approach has been proved to be an only tool for delineation of such hierarchy;

- A definition of a Smart City has been done from the point of view of the urbogeosystemic approach;
- Five basic domains of using LiDAR in Urban Remote Sensing have been outlined as well as three key advantages of this approach have been emphasized;
- An operational URS / LiDAR / GIS-workflow has been described within the approach of URS for massive data mining / city analytics;
- Six those relevant to urban data for smart cities issues have been underlined, which strongly correspond to the geospatial perspective of the SCC; these issues have been put into compliance with three key subject areas considered in this paper;
- The whole framework of the URS data mining has been divided for three steps mandatory for any relevant use case development by software tools;
- The functionality and user’s interface of the original family of products for LiDAR data processing and 3D city model generation have been introduced by few descriptions of relevant use cases for Smart Cities.

The further key research and developments may be within the trend of the urban geoinformation space creation, what has been already mentioned in this text earlier. The *ELiT* 3D Geo-Database (GDB) Unit will be a mandatory key component of the urban decision support system, while both are included into the geoinformation space for smart cities. This GDB may be a derivation of the rational database schema. A geodatabase for storing and managing *ELiT* 3D city models stands on the CityGML approach and takes a certain place in a general oper-

ational workflow (refer to Fig. 2). A GDB would support geometric, semantic, and thematic properties and attributes, taxonomies and aggregations. Its key feature, the city features, represents spatial, geo-referenced, geometric entities. Specialized classes of urban features would include buildings, green areas, infrastructure spaces, transportation networks, streets of different ranks, water bodies, vegetation of different belts. This GDB will be implemented as an independent unit of the UDSS, while another unit of this system will support an option of visualization.

### References

1. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. – 2018 Revision of World Urbanization Prospects [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
2. Dobbs R. Urban World: Mapping the Economic Power of Cities [Текст] / Dobbs R., Smit S., Remes J. [and other]. – McKinsey Global Institute, 2011 [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/urbanization/urban-world-mapping-the-economic-power-of-cities>
3. Weng Q. Remote sensing for urbanization in tropical and subtropical regions—Why and what matters? [Text] / Q. Weng. // Remote Sensing of Impervious Surfaces in Tropical and Subtropical Areas. Boca Raton / Zhang, H., Lin, H. Zhang, Y., Q. Weng (Editors). – FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2015 – P. 17–22.
4. GEO Group on Earth Observation. Earth Observations for the Benefits of Humankind [Electronic resource]. – GEOSS Portal, 2019. – Режим доступу: <http://www.earthobservations.org/index.php>
5. Weng Q. Remote Sensing for Sustainability [Text] / Q. Weng. – Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2016. – 366 pp.
6. Group on Earth Observations. The GEO 2016–2025 Strategic Plan: Implementing GEOSS – [Electronic resource]. – 2016 – Режим доступу: [https://www.earthobservations.org/geoss\\_wp.php](https://www.earthobservations.org/geoss_wp.php)
7. Kostrikov S.. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) [Text] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other] // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 49. – X.: ХНУ, 2018. – С. 107–121.
8. UNEP. Visions for Change. Recommendations for Effective Policies on Sustainable Lifestyles [Electronic resource] // UNEP Division of Technology, Industry & Electronics, 2019. – 82 p. – Режим доступу: [file:///K:/Texts/Paper\\_2019/Smart\\_City\\_Paper/Sources\\_Our\\_Paper/Vision\\_For\\_Change.pdf](file:///K:/Texts/Paper_2019/Smart_City_Paper/Sources_Our_Paper/Vision_For_Change.pdf)
9. Henard E. The Cities of the Future /E. Henard [Electronic resource] // Royal Institute of British Architects. – Town Planning Conference. – London, 10–15 October 1910. – Transactions, 1911. – P. 345–367. – Режим доступу: <http://urbanplanning.library.cornell.edu/DOCS/henard.htm>
10. Saarinen E. The City: Its Growth, Its Decay, Its Future [Text] / E. Saarinen. – New York: Reinhold Publishing Corporation, 1943. – 236 p.
11. Eremia M. The Smart City Concept in the 21<sup>st</sup> Century [Text] / Eremia M., Toma L., Sanduleac M. // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 181. – P. 12–19.
12. Mitchell W. IBM, Smarter Cities – Overview [Electronic resource]. – 2019. – Режим доступу: [http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter\\_cities/overview](http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview).
13. Deakin M. Smart Cities. Governing, modeling and analyzing the transition [Text] / M. Deakin (Editor). – NY: Routledge, 2014. – 210 p.
14. Kostrikov S. Three Key Processing Functionalities of the EOS LiDAR Tool / S. Kostrikov, D. Bubnov, A. Kostrikova, R. Pudlo [Text] // Technical Session: LiDAR Data Processing. – Proceedings of 39<sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing, 15–19 October 2018, Renaissance Kuala Lumpur Hotel. – 2018. – P. 406.
15. Nam T., Pardo T.A. Smart City as Urban Innovation: Focusing on management, Policy, and Context [Text] / T. Num, T.A. Pardo // ICEGOV Conference, September 26–28, 2011, Tallinn, Estonia. – 2011. – P. 185–194.
16. Giffinger R. Smart Cities Ranking: An Effective Instrument for the Positioning of Cities? [Text] /R. Giffinger, H. Gudrun //ACE: Architecture, City and Environment. – 2010. – Vol. 4. – No 12. – P. 7–25.
17. Hall R. E. The vision of a smart city / R.E. Hall // Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop, Paris, France, September 28 [Electronic resource]. – 2000. – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/773961/>
18. Hartley J. Innovation in governance and public services: Past and present [Text] /J. Hartley // Public Money & Management. – 2005. – Vol. 25. – No 1. – P. 27–34.
19. Toppeta D. The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, “Livable”, Sustainable Cities [Electronic resource] // The Innovation Knowledge Foundation, 2010. – Режим доступу: [http://www.thinkininnovation.org/file/research/23/en/Toppeta\\_Report\\_005\\_2010.pdf](http://www.thinkininnovation.org/file/research/23/en/Toppeta_Report_005_2010.pdf)



20. Washburn, D. *Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO* / D. Washburn, U. Sindhu, S. Balaouras [and other] [Electronic resource]. – Cambridge, MA: Forrester Research, Inc.– 2010. – Режим доступу: [http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr\\_help\\_cios\\_und\\_smart\\_city\\_initiatives.pdf](http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr_help_cios_und_smart_city_initiatives.pdf)
21. Manson A. *Smart cities concept and challenges: Bases for the assessment of smart city projects* [Electronic resource] / A. Manson // *Proceedings of 2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)*. – 2015. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7297938>
22. Bradford N. *Place matters and multi-level governance: Perspectives on a new urban policy paradigm* [Text] /N. Bradford // *Policy Options*. – 2004. – Vol. 25. –No. 2. – P. 39–45.
23. Sylvie D. *GeoSmartCity: geomatics contribution to the Smart City* [Text] / D. Sylvie, M.A. Doran // *Proceedings of 14th annual International Conference on digital Government research: From e-Government to Smart Government*, ACM, 2013. – P. 65–71.
24. Li Y. *Analysis of the challenges and solutions of building a smart city* [Text] / Li Y., Liu A. // *Proceedings of 2013 International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM)*, ASCE, Reston, VA, 2013. – P. 1511–1515.
25. Криничанский К.В. *Современный российский город в свете тенденций урбанистического мира* [Текст] / К.В. Криничанский // *Региональная экономика: теория и практика*. – 2013. – Вып. 32 (311) – С. 2–13.
26. Batty M. *Smart cities of the future* [Text] / M. Batty, K. Axhausen, F. Giannotti [and other] // *The European Physical Journal*. – 2012. – Vol. 214. – P. 482–518.
27. Fu P. *A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery* [Text] / P. Fu, Q. Weng // *Remote Sensing of Environment*. – 2016. – Vol. 175. – No 4. – P. 205–214.
28. Batty M., *The size, scale, and shape of cities* [Text] /M. Batty // *Science*. – 2008. – Vol. 319 (5864). – P. 769–771.
29. Grimm N.B. *Global change and the ecology of cities* [Text] / N.B. Grimm, S.H. Fraeth, N.E. Golubiewski [and other] // *Science*. – 2008. – Vol. 319 (5864). – P. 756–760.
30. Potere D. *A critical look at representations of urban areas in global maps* [Text] / D. Potere, A. Schneider // *GeoJournal*. – 2007. – Vol. 69. – No. 1. – P. 55–80.
31. Miyazaki H. *An automated method for global urban area mapping by integrating ASTER satellite images and GIS data* [Text] / H. Miyazaki H., Shao X., Iwao K., Shibasaki R. // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 6 (2). – P. 1004–1019.
32. Wieland M. *Large-area settlement pattern recognition from Landsat-8 data*. M. Wieland, M. Pittore // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 119. – P. 294–308.
33. Dong P. *LiDAR Remote Sensing and Applications* [Text] / P. Dong, Q. Chen. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 246 p.
34. Giannotti F. *Unveiling the complexity of human mobility by querying and mining massive trajectory data* [Text] / F. Giannotti, M. Nanni, D. Pedreschi [and other] // *The International Journal on Very Large Data Bases*. – 2011. – Vol. 20. – No 5. – P. 695–719.
35. Song C. *Modelling the scaling properties of human mobility* [Text] / C. Song, T. Koren, P. Wang [and other] // *Nature Physics*. – 2010. – Vol. 6. – P. 818–823.
36. Song C. *Limits of predictability in human mobility* [Text] / C. Song, Z. Qu, N. Blumm [and other] // *Science*. – 2010. – Vol 327. – P. 1018–1021.
37. Felbier A. *The global urban footprint; processing status and cross comparison to existing human settlement products* [Text] / A. Felbier, T. Esch, W. Heldens [and other] // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. – 2014. – P. 4816–4819.
38. Lazaroiu G.C. *Definition methodology for the smart cities model* [Text] / G. C. Lazaroiu, M. Roscia // *Energy*. – 2012. – Vol. 47. – P. 326–332.
39. Desfor G. *Nature and the City: Making Environmental Policy in Toronto and Los Angeles* [Text] / G. Desfor, R. Keil. – Tucson: the University of Arizona Press, 2004. – 269 p.
40. Gil-García J. R. *E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations* [Text] / J.R. Gil-García, T.A Pardo // *Government Information Quarterly*. – 2005. – Vol. 22. – No 2. – P. 187– 216.
41. Eger J. M. *Smart growth, smart cities, and the crisis at the pump a worldwide phenomenon* [Text] /J.M. Eger // *I-Ways*. – 2009. – Vol. 32. – No. 1. – P. 47–53.
42. Sagl G. *Contextual sensing: integrating contextual information with human and technical geo-sensor information for Smart Cities* [Text] / G. Sagl, T. Blashker // *Sensors*. – 2015. – Vol. 15. – P. 17013–17035.
43. Resch B. *Live geography: Interoperable geo-sensor webs facilitating the vision of digital earth* [Text] / Resch B., Blaschke T., Mitlboeck M. // *International Journal of Advanced Network Services*. – 2010. – Vol. 3. – P. 323–332.
44. Talari S. *A review of Smart Cities based on the Internet Of Things concept* [Text] / S. Talari, M. Shafie-khah, P. Siano // *Energies*. – 2017. – Vol. 421. – No 10. – P. 3–26.
45. Merbitz H. *GIS-based identification of spatial variables enhancing heat and poor air quality in urban areas* [Text] / H. Merbitz, M. Buttstädt, S. Michael // *Applied Geography*. – 2012. – Vol. 33. – P. 94–106.

46. *Sagl G. Ubiquitous geo-sensing for context-aware analysis: Exploring relationships between environmental and human dynamics [Text] / G. Sagl, T. Blaschke, E. Beinat // Sensors. – 2012. – Vol. 12. – P. 9835–9857.*
47. *Lukowicz P. Beyond context awareness [Text] / P. Lukowicz, T. Choudhury, H. Gellersen // IEEE Pervasive Computing. – 2011. – Vo. 10. – P. 15–17.*
48. *Schmidt A. There is more to context than location [Text]. / A. Schmidt, M. Beigl, H.-W. Gellersen // Computer Graphics. – 1999. – Vol. 23. – P. 893–901.*
49. *Naphade M. Smarter cities and their innovation challenges [Text] / M. Naphade, G. Banavar, C. Harrison [and other]. – 2011. – Vol. 44. –No 6. – P. 32–39.*
50. *Костріков С.В. Програмне забезпечення ГІС для LiDAR-технології дистанційного зондування в цілях аналізу урбогеосистем [Текст] / С.В. Костріков, Д.Л. Кулаков, К.Ю. Сегіда // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії – ГІС-форум'14. Збірник наукових праць – 2014. – Вип. 19. – С. 45–52.*
51. *Філатов В.М., Костріков С.В. Щодо розгляду окремих аспектів концепції «Розумне Місто» у суспільно-географічній площині [Текст] / В.М. Філатов, С.В. Костріков // РЕГІОН-2019: Суспільно-географічні аспекти. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців (м. Харків, 11–12 квітня 2019 р.). – Харків, 2019. – С. 108–111.*
52. *Костріков С.В. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС [Текст] / С.В. Костріков, О.С. Чуєв // Вісник ХНУ.– Вип. 44 – Геологія– Географія – Екологія. – Харків: Видавництво ХНУ, 2016. – С. 98–109.*
53. *Безрук В.А., Костріков С.В., Чуєв А.С. ГІС-аналіз функції урбогеосистеми з метою оптимізації розміщення закладів громадського харчування (на прикладі м. Харків) [Текст] / В.А. Безрук, С.В. Костріков, А.С. Чуєв // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 21 (2), 2016. – С. 91–101.*
54. *Bourne L.S. Simmons J.W. (Editors), Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy [Text] / L.S. Bourne, J.W. Simmons – Oxford: Oxford University Press, 1978. – 565 p.*
55. *Torregrosa A. Smart City concepts, Challengers and Projects [Text] /A. Torregrosa, M. Martin // 1<sup>st</sup> ASCIMER Workshop. – EIBURS, 2014. – P. 198–214.*
56. *Hancke G.P. The role of advanced sensing in Smart Cities [Text] / G. Hancke, B. Silva, G. Hancke Jr // Sensors. – 2013. – Vol. 13– P. 393–425.*
57. *Lazaroiu G.C. Definition methodology for the smart city model [Text] / G.C. Lazaroiu, M. Roscia . – 2012. – Vol. 47. – P. 326–332.*
58. *Naphade M. Smarter cities and their innovation challenges [Text] / M. Naphade, G. Banavar, G. Harrison [and other] // Computer . – 2011. – Vol. 44(6). – P. 32–39.*
59. *Potere D. Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate [Text] / D. Potered, A. Schneider, A. Shlomol [and other] // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30 (24). – P. 6531–6558.*
60. *Rathore M.M. Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics [Text] / M.M. Rathore, A. Ahmad, A. Paul [and other] // Computer Networks. – 2016. – Vol. 101. – P. 63–80.*
61. *Allwinkle S. Creating smart-er cities: An overview [Text] / S. Allwinkle, P. Cruickshank // Journal of Urban Technologies. – 2011. – Vol. 18. – P. 1–16.*
62. *Kostrikov S. Three Key EOS LiDAR Tool Functionalities for Urban Studies [Text] / S. Kostrikov, R. Pudlo, A. Kostrikova // Full Paper Proceeding of ACRO'2018, Kuala Lumpur, Malaysia. – Technical Session: LiDAR Data Processing, 2018. – Vol. 3. – P. 1676–1685.*
63. *Brenner C. Building reconstruction from images and laser scanning [Text] / C. Brenner // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2005. –Vol. 6. – No3. – P. 187–198.*
64. *Dorninger P. A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds [Text] / P. Doringner, N. Pfeifer // Sensors. – 2008. – Vol. 8. – No 11. – P. 7323–7343.*
65. *Haala N. An update on automatic 3D building reconstruction // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [Text]/ N. Haala, M. Kada. – 2010. – Vol. 65. – No 6. – P. 570–580.*
66. *Musialski P. A survey of urban reconstruction [Text] / P. Musialski, P. Wonka, D.G. Aliaga [and other] // Computer Graphics Forum. – 2013. – Vol. 32. – No 6. – P. 146–177.*
67. *Wang R. 3D building modeling using images and LiDAR: a review [Text] / R. Wang // International Journal of Image and Data Fusion. – 2013. – Vol. 4. – No 4. – P. 273–292.*
68. *Ackermann F. Airborne laser scanning – present status and future expectations Text] / F. Ackermann // Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. – 1999. – Vol. 54. – No 1. – P. 64–67.*
69. *Sampath A. Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds [Text] / A. Sampath, J. Shan // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2010 – Vol. 48. – No. 3. – P. 1554–1567.*
70. *Vosselman G. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans [Text] / G. Vosselman, S. Dijkman // IAPRS. – 2001. – Vol. 34 (3W4). – P. 37–43.*
71. *Yan W.Y. Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review [Text] / W.Y. Yan, A. Shaker, N. El-Ashmawy // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 158. – P. 295–310.*
72. *Pu S. Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data [Text] / S. Pu, G. Vosselman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 64. – P. 575–584.*

73. Orthuber E. 3D building reconstruction from Lidar point clouds by adaptive dual contouring [Electronic resource] / E. Orthuber, J. Avbelj // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. II– W4.– PIA15+HRIGI15—Joint ISPRS conference 2015, 25–27 March, 2015, Munich, Germany – 2015. – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/d99b/d10b290a18a8070466a37f463c0886955f63.pdf>
74. Biljecki F. Applications of 3D City Models: State of the Art Review [Text] / F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux [and other] // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2015. – Vol. 4. – P. 2842–2889.
75. Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін. Колективна монографія [Текст] / К. Мезенцев, Я. Олійник, Н. Мезенцева (редактори). – Київ: Фенікс, 2017. – 438 с.
76. Акатов Н.Б. Проект «Умный Город»: предпосылки реализуемости и успешности [Текст] / Н.Б. Акатов, С.В. Толчин, П.В. Молянов [и другие] // *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки* – 2018. – № 2. – С. 116–126.
77. Костриков С. Веб-застосування ELiT – програмне забезпечення для моделювання і аналізу міського середовища [Текст] / С. Костриков, Д. Бубнов, А. Кострикова, Р. Пудло // *Збірник матеріалів конференції «ГІС-Форум»–2018»* – Харків, 2018 – С. 56–59.
78. Brail R.K. *Planning Support Systems for Cities and Regions* [Text] / R.K. Brail (Editor). – Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA. – 2008. – 312 p.
79. Dwivedi M. New horizons in planning Smart Cities using LiDAR technology [Text] / M. Dwivedi, A. Uniyal, R. Mohan // *International Journal of Applied Remote Sensing and GIS*. – 2015. – Vol. 2. – No 1. – P. 40–50.
80. Hodgson M.E. Synergistic use of LiDAR and color aerial photography for mapping urban parcel imperviousness [Text] / M.E. Hodgson, J.R. Jensen, J.A. Tullis [and other] // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 69. – No.9. P. 973–980.
81. Germaine K. A. Delineation of impervious surface from multispectral imagery and LiDAR incorporating knowledge based expert system rules [Text] / K.A. Germaine, M.C. Hung // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2011. – Vol. 77. – No 1. – P. 75–85.
82. Garcia-Gutierrez J. Automatic environmental quality assessment for mixed-land zones using LiDAR and intelligent techniques [Text] / J. Garcia-Gutierrez, L. Goncalves-Seco, J.C. Riquelme-Santos // *Expert Systems with Applications*. – 2011. – Vol. 38. – No 6. – P. 6805–6813.
83. Stal C. Airborne photogrammetry and LiDAR for DSM extraction and 3D change detection over an urban area – a comparative study [Text] / C. Stal, F. Tack, P. De Maeyer [and other] // *International Journal of Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 34. – No 4. – P. 1087–1110.
84. Teo, T.–A., Shih, T.–Y. LiDAR-based change detection and change-type determination in urban areas [Text] / T.–A. Teo, T.–Y. Shih // *International Journal of Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 34. – No 3. – P. 968–981.
85. Khoshelham K. Performance evaluation of automated approaches to building detection in multisource aerial data [Text] / K. Khoshelham, C. Nardinocchi, E. Frontoni [and other] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2010. – Vol. 65. – P. 123–133.
86. Dong L. A comprehensive review of earthquake-induced building damage detection with remote sensing techniques [Text] / L. Dong., J. Shan // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 84. – P. 85–99.
87. Baltsavias E. P. Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: Current status and steps towards operational systems [Text] / E.P. Baltsavias // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 58. – P. 129–151.
88. Vu T.T. Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data [Text] / T.T. Vu, F. Yamazaki, M. Matsuoka // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2009. – Vol. 11. – P. 281–289.
89. Zhang L., Xu T., Zhang J. Building extraction based on multiscale segmentation [Text] / L. Zhang, T. Xu, J. Zhang // *5th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), October 16–18, 2012*. – 2012. – P. 657–661.
90. Perron J.T. Formation of evenly spaced ridges and valleys [Text] / J.T. Perron, J.W. Kirchner, W.E. Dietrich // *Nature*. – 2009. – Vol. 460. – P. 502–505.
91. Glenn N.F. Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity [Text] / N.F. Glenn, D.R. Streutker, D.J. Chadwick [and other] // *Geomorphology*. – 2006. – Vol. 73. – P. 131–148.
92. Schulz W.H. Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington [Text] / W.H. Schulz // *Engineering Geology*. – 2007. – Vol. 89. – P. 67–87.
93. Dong P. A framework for automated assessment of post-earthquake building damage using geospatial data [Text] / P. Dong, H.D. Guo // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – Vol. 33. – P. 81–100.
94. Zhu Q. Research and practice in three-dimensional city modeling [Text] / Q. Zhu, M. Hu, Y. Zhang // *Geo-Spatial Information Science*. – 2009. – Vol. 12. – P. 18–24.
95. Giannotti F. *Mobility, Data Mining and Privacy: Geographic Knowledge Discovery* [Text] / F. Giannotti, D. Pedreschi. – Springer, Berlin. – 2008. – 412 p.
96. Zhang X. A linear dirichlet mixture model for decomposing scenes: Application to analyzing urban functional zonings [Text] / X. Zhang, S. Du // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – Vol. 169. – P. 37–49.

97. Wen D. A novel automatic change detection method for urban high resolution remotely sensed imagery based on multiindex scene representation [Text] / D. Wen, X. Huang, L. Zhang // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 54. – No 1. – P. 609–625.
98. Kabolizade M. An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and LiDAR data [Text] / M. Kabolizade, H. Ebadi, S. Ahmadi // *Computers, Environment and Urban System*. – 2010. – Vol. 34. – P. 435–441.
99. Susaki J. Knowledge-based modeling of buildings in dense urban areas by combining airborne LiDAR data and aerial images [Text] / J. Susaki // *Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 5. – P. 5944–5963.
100. Ng E. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong [Text] / E. Ng // *Building and Environment*. – 2009. – Vol. 44. – No 7. – P. 1478–1488.

UDC 711.433:004.9+004.451+911.3

**Sergiy Kostrikov,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;  
EOS Data Analytics Ukraine, LLC, 31 Alchevskyh St., Kharkiv, 61002, Ukraine,  
e-mail: [sergiy.kostrikov@eosda.com](mailto:sergiy.kostrikov@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

### URBAN REMOTE SENSING WITH LIDAR FOR THE SMART CITY CONCEPT IMPLEMENTATION

**Introduction of the problem.** The paper emphasizes that the key features of the contemporary urban development have caused a number of challengers, which require the innovative technological introductions in urban studies. The **research goal** of this paper means representing a multifunctional approach, which combines author's urbogeosystem (UGS) theory with the URS (Urban Remote Sensing) technique for LiDAR (Light Detection And Ranging) data processing.

**The key elements of the Smart City concept within a geospatial perspective.** Three basic assumptions are implied due to the affiliation “a geospatial perspective ⇔ the Smart City concept” (SCC). The five key elements of the SCC have been outlined: Innovations; Scalability; Data gathering, measuring, and mining; Addressing environmental challengers; Interlink between the smart meter information and the geosensor information.

**The urbogeosystemic approach as a tool for simulating the “smart urban environment” – a core node of the Smart City hierarchy.** The urbogeosystemic ontological model has been introduced as a trinity-tripod (urban citizens, municipal infrastructure, urbanistic processes and phenomena). The “smart urban environment” is a core node of an urbogeosystem.

**Processing results of LiDAR surveying technique.** With increasing availability of LiDAR data, 3D city models of robust topology and correct geometry have become the most prominent features of the urban environment. Three key advantages of the LiDAR surveying technique have been introduced. The flowchart of the operational URS / LiDAR / GIS workflow for the Smart City implementation has been depicted.

**Urban Remote Sensing for data mining / city analytics and the EOS LiDAR Tool.** *ELiT (EOS LiDAR Tool)* software is both a separate web-based (network) generator (an engine) – *ELiT Server*, and an integrated component of EOS Platform-as-a-Service software – *ELiT Cloud*. The allied one to these two products is our desktop *ElitCore* software, that possesses even broader functionality. The paper outlines the whole framework of urban data mining / city analytics relevant to the mentioned applications.

**The ELiT software use cases for the Smart Cities.** A number of use cases that can be completed with the *ELiT* software in the common urban planning domain have been described and illustrated. Each from five scenarios presented suggests some unique solution within the frameworks of the SCC implementation.

**Conclusion, future research and developments.** The completed research results have been summarized. An entity of the urban geoinformation space has been introduced. A geodatabase of *ELiT* 3D city models has been assigned a mandatory key component of the urban decision support system.

**Keywords:** LiDAR remote sensing, urban environment, the Smart City concept, interface and functionality of GIS web-application, software use cases, urban decision support system.

#### References

1. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. (2018). *Revision of World Urbanization Prospects*. Available at: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>



2. Dobbs, R., Smit, S., Remes, J. [and other] (2011). *Urban World: Mapping the Economic Power of Cities*. McKinsey Global Institute. Available at: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/urbanization/urban-world-mapping-the-economic-power-of-cities>
3. Weng, Q. (2015). *Remote sensing for urbanization in tropical and subtropical regions—Why and what matters? Remote Sensing of Impervious Surfaces in Tropical and Subtropical Areas*. Boca Raton / Zhang, H., Lin, H. Zhang, Y., Q. Weng (Editors). FL: CRC Press/Taylor & Francis, 17–22.
4. GEO Group on Earth Observation. (2019). *Earth Observations for the Benefits of Humankind*. GEOSS Portal. Available at: <http://www.earthobservations.org/index.php>
5. Weng, Q. (2016). *Remote Sensing for Sustainability*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 366.
6. Group on Earth Observations. (2016). *The GEO 2016–2025 Strategic Plan: Implementing GEOSS*. Available at: [https://www.earthobservations.org/geoss\\_wp.php](https://www.earthobservations.org/geoss_wp.php)
7. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K. [and other] (2018) *Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) [Text] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other]*. *Kharkiv National University Bulletin in Geology, Geography, and Ecology*, 49, 107–121.
8. UNEP. (2019). *Visions for Change. Recommendations for Effective Policies on Sustainable Lifestyles*, 82. Available at: [file:///K:/Texts/Paper\\_2019/Smart\\_City\\_Paper/Sources\\_Our\\_Paper/Vision\\_For\\_Change](file:///K:/Texts/Paper_2019/Smart_City_Paper/Sources_Our_Paper/Vision_For_Change)
9. Henard, E. (2011). *The Cities of the Future*. Royal Institute of British Architects. Town Planning Conference. London, 10–15 October 1910, 345–367. Available at: <http://urbanplanning.library.cornell.edu/DOCS/henard.htm>
10. Saarinen, E. (1943). *The City: Its Growth, Its Decay, Its Future*. New York: Reinhold Publishing Corporation, 236.
11. Eremia, M., Toma, L., Sanduleac, M. (2017). *The Smart City Concept in the 21<sup>st</sup> Century*. *Procedia Engineering*, 181, 12–19.
12. Mitchell, W. (2019). *IBM, Smarter Cities – Overview*. Available at: [http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter\\_cities/overview](http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview).
13. Deakin, M. (2014). *Smart Cities. Governing, modeling and analyzing the transition*. New York: Routledge, 210.
14. Kostrikov, S., Bubnov, D., Kostrikova, A. [and other]. (2018). *Three Key Processing Functionalities of the EOS LiDAR Tool*. Technical Session: LiDAR Data Processing. *Proceedings of 39<sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing*, 15–19 October 2018, Renaissance Kuala Lumpur Hotel, 406.
15. Nam, T., Pardo, T.A. (2011). *Smart City as Urban Innovation: Focusing on management, Policy, and Context*. ICEGOV Conference, September 26–28, 2011, Tallinn, Estonia, 185–194.
16. Giffinger, R. Gudrun, H. (2010). *Smart Cities Ranking: An Effective Instrument for the Positioning of Cities?*. *ACE: Architecture, City and Environment*, 4 (12), 7–25.
17. Hall, R. E. (2000). *The vision of a smart city*. *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop, Paris, France, September 28*. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/773961/>
18. Hartley, J. (2005). *Innovation in governance and public services: Past and present*. *Public Money & Management*, 25(1), 27–34.
19. Toppeta, D. (2010). *The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, “Livable”, Sustainable Cities*. The Innovation Knowledge Foundation, Available at: [http://www.thinkinnovation.org/file/research/23/en/Toppeta\\_Report\\_005\\_2010.pdf](http://www.thinkinnovation.org/file/research/23/en/Toppeta_Report_005_2010.pdf)
20. Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S. [and other] (2010). *Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO*. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. Available at: [http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr\\_help\\_cios\\_und\\_smart\\_city\\_initiatives.pdf](http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr_help_cios_und_smart_city_initiatives.pdf)
21. Manson, A. (2015). *Smart cities concept and challenges: Bases for the assessment of smart city projects*. *Proceedings of 2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7297938>
22. Bradford, N. (2004). *Place matters and multi-level governance: Perspectives on a new urban policy paradigm*. *Policy Options*, 25(2), 39–45.
23. Sylvie, D., Doran, M. A. (2013). *GeoSmartCity: geomatics contribution to the Smart City [Text] / D. Sylvie, D., Doran M. A.* *Proceedings of 14th annual International Conference on digital Government research: From e-Government to Smart Government*, ACM, 65–71.
24. Li, Y. (2013). *Analysis of the challenges and solutions of building a smart city*. *Proceedings of 2013 International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM)*, ASCE, Reston, VA, 1511–1515.
25. Krinichansky, K.V. (2013). *Sovremennuj rossijskiy gorod v svete tendentsij urbanisticheskogo mira [Contemporary Russian city in the light of the urbanistic world trends]*. *Regional Economics: Theory and Practice*, 32 (311), 2–13.
26. Batty, M., Axhausen, K., Giannotti, F. [and other] (2012). *Smart cities of the future*. *The European Physical Journal*, 214, 482–518.
27. Fu, P. Weng, Q. (2016). *A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery*. *Remote Sensing of Environment*, 175, 4, 205–214.
28. Batty, M. (2008). *The size, scale, and shape of cities*. *Science*, 319 (5864), 769–771.
29. Grimm, N.B. Fraeth, S.H., Golubiewski, N.E. [and other]. (2008). *Global change and the ecology of cities*. *Science*, 319(5864), 756–760.
30. Potere, D., Schneider, A. (2007). *A critical look at representations of urban areas in global*. *GeoJournal*, 69 (1), 55–80.

31. Miyazaki, H., Shao, X., Iwao, K. [and other] (2013). An automated method for global urban area mapping by integrating ASTER satellite images and GIS data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6 (2), 1004–1019.
32. Wieland, M. Pittore, M. (2016). Large-area settlement pattern recognition from Landsat-8 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 294–308.
33. Dong, P., Chen, Q. (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Boca Raton: CRC Press, 246.
34. Giannotti, F., Nanni, M., Pedreschi, D. [and other]. (2011). Unveiling the complexity of human mobility by querying and mining massive trajectory data. *The International Journal on Very Large Data Bases*, 20(5), 695–719.
35. Song, C., Koren, T., Wang, P. [and other]. (2010). Modelling the scaling properties of human mobility. *Nature Physics*, 6, 818–823.
36. Song, C. Qu, Z., Blumm, N. [and other]. Limits of predictability in human mobility. *Science*, 327, 1018–1021.
37. Felbier, A., Esch, T., Heldens, W. [and other]. (2014). The global urban footprint; processing status and cross comparison to existing human settlement products. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4816–4819.
38. Lazaroiu, G.C., Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47, 326–332.
39. Desfor, G., Keil, R. (2004). *Nature and the City: Making Environmental Policy in Toronto and Los Angeles*. Tucson: the University of Arizona Press, 269.
40. Gil-García, J. R., Pardo, T. A. (2005). E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations, 22(2), 187–216.
41. Eger, J. M. (2009). Smart growth, smart cities, and the crisis at the pump a worldwide phenomenon. *I-Ways*, 32(1), 47–53.
42. Sagl, G. Blashker, T. (2015). Contextual sensing: integrating contextual information with human and technical geo-sensor information for Smart Cities, 15, 17013–17035.
43. Resch, B., Blaschke, T., Mittlboeck, M. (2010). Live geography: Interoperable geo-sensor webs facilitating the vision of digital earth. *International Journal of Advanced Network Services*, 3, 323–332.
44. Talari, S., Shafie-khah, M., Siano, P. (2017). A review of Smart Cities based on the Internet Of Things concept. *Energies*, 421(10), 3–26.
45. Merbitz, H., Buttstädt, M., Michael, S. (2012). Gis-based identification of spatial variables enhancing heat and poor air quality in urban areas. *Applied Geography*, 33, 94–106.
46. Sagl, G., Blaschke, T., Beinat, E. (2012). Ubiquitous geo-sensing for context-aware analysis: Exploring relationships between environmental and human dynamics, 12, 9835–9857.
47. Lukowicz, P., Choudhury, T., Gellersen, H. Beyond context awareness. *IEEE Pervasive Computing*, 10, 15–17.
48. Schmidt, A. Beigl, M., Gellersen, H.-W. (1999). There is more to context than location. *Computer Graphics*, 23, 893–901.
49. Naphade, M., Banavar, G., Harrison, C. [and other]. (2011). Smarter cities and their innovation challenges, 44 (6), 32–39.
50. Kostrikov, S., Kulakov, D., Sehida, K. (2014). Programme zabezpechennya GIS dlya LiDAR-technologiei dustantsijnogo zonduvannya v tsilyah analizu urbogeosystem [GIS-software for the urban geosystem analysis with LiDAR-technique]. *Proceedings of GIS Forum*, 19, 45–52.
51. Filatov, V.M., Kostrikov, S.V. (2019). Towards the consideration of some aspects of the Smart City concept in the Human Geography perspective. *REGION 2019: Human-Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students*. Kharkiv, 108–111.
52. Kostrikov, S., Chuev, O. (2016). Analiz dvorivnevu urbogeosystem cherez zasobu GIS [Analysis of the two-level urbogeosystems by GIS-tools]. *Bulletin in Geology, Geography, and Ecology*, 44, 98–109.
53. Bezruk, V., Kostrikov, S., Chuev, A. (2016). GIS-analiz funktsii urbogeosistemu z metoyu optimizatsii rozmishennya zakladiv gromadskogo harchuvanny (na prukladi m. Kharkiv) [Optimizing allocation of catering institution establishment through the urbogeosystem GIS-analysis (case study of Kharkiv)]. *Human Geography Journal*, 21 (2), 91–101.
54. Bourne, L.S., Simmons, J.W. (Editors). (1978). *Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy*. Oxford: Oxford University Press, 565.
55. Torregrosa, A. Martin, M. (2014). Smart City concepts, Challengers and Projects. 1<sup>st</sup> ASCIMER Workshop. *EI-BURS*, 198–214.
56. Hancke, G.P., Silva, B., Hancke Jr, G. (2013). The role of advanced sensing in Smart Cities. *Sensors*, 13, 393–425.
57. Lazaroiu, G.C., Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart city model, 47, 326–332.
58. Naphade, M., Banavar, G., Harrison, G. (2011). Smarter cities and their innovation challenges, 44(6), 32–39.
59. Potere D., Schneider, A. Shlomol, A. [and other]. (2009). Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate. *International Journal of Remote Sensing*, 30 (24), 6531–6558.
60. Rathore, M.M., Ahmad, A. Paul, A. [and other]. (2016). Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. *Computer Networks*, 101, 63–80.
61. Allwinkle S., Cruickshank, P. (2011). Creating smart-er cities: An overview. *Journal of Urban Technologies*, 18, 1–16.

62. Kostrikov, S. Pudlo, R. Kostrikova, A. (2018). *Three Key EOS LiDAR Tool Functionalities for Urban Studies. Full Paper Proceeding of ACRO'2018, Kuala Lumpur, Malaysia. Technical Session: LiDAR Data Processing, 3, 1676–1685.*
63. Brenner, C. (2005). *Building reconstruction from images and laser scanning. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6(3), 187–198.*
64. Dorninger, P., Pfeifer, N. (2008). *A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds, 8(11), 7323–7343.*
65. Haala, N., Kada, M. (2010). *An update on automatic 3D building reconstruction // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(6), 570–580.*
66. Musialski, P. Wonka, P., Aliaga, D.G. [and other]. (2013). *A survey of urban reconstruction. Computer Graphics Forum, 32(6), 146–177.*
67. Wang, R. (2013). *3D building modeling using images and LiDAR: a review. International Journal of Image and Data Fusion, 4(4), 273–292.*
68. Ackermann, F. (1999). *Airborne laser scanning – present status and future expectations. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54(1), 64–67.*
69. Sampath, A., Shan, J. (2010). *Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(3), 1554–1567.*
70. Vosselman, G., Dijkman, S. (2001). *3D building model reconstruction from point clouds and ground plans, 34 (3W4), 37–43.*
71. Yan, W.Y., Shaker, A., El-Ashmawy, N. (2015). *Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. Remote Sensing of Environment, 158, 295–310.*
72. Pu, S., Vosselman, G. (2009). *Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 575–584.*
73. Orthuber, E. Avbelj, J. (2015). *3D building reconstruction from Lidar point clouds by adaptive dual contouring. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II–W4. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/d99b/d10b290a18a8070466a37f463c0886955f63.pdf>*
74. Biljecki, F. Stoter, J., Ledoux, H. [and other]. (2015). *Applications of 3D City Models: State of the Art Review. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4, 2842–2889.*
75. Mezentsev, K., Oliynuk, Y., Mezentseva, N. (Editors). (2017). *Urbanistuchna Ukraina; v epitsentre prostorovuh zmin [Urbanistic Ukraine: In the Epicentre of Spatial Alterations]. Collective monograph. Kyiv: Fenix, 438.*
76. Akatov, N.B., Tolchin, S.V., Molyanov, P.V. [and other]. (2018). *“Smart City” Project: premises of performability and successfulness. PNIPU Bulletin of social–economic sciences, 2, 116–126.*
77. Kostrikov, S., Bubnov, D., Kostrikova, A. [and other]. (2018). *ELiT web–application – the software for urban environment modeling and analysis. GIS Forum–2018. Kharkiv, 56–59.*
78. Brail, R.K. (Editor). (2008). *Planning Support Systems for Cities and Regions. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA, 312.*
79. Dwivedi, M. Uniyal, A., Mohan, R. (2015). *New horizons in planning Smart Cities using LiDAR technology, 2(1), 40–50.*
80. Hodgson, M.E. Uniyal, A., Mohan, R. [and other]. (2003). *Synergistic use of LiDAR and color aerial photography for mapping urban parcel imperviousness. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(90), 973–980.*
81. Germaine, K.A., Hung, M.C. (2011). *Delineation of impervious surface from multispectral imagery and LiDAR incorporating knowledge based expert system rules. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 77(1), 75–85.*
82. Garcia–Gutierrez, J. L., Goncalves–Seco, L., Riquelme–Santos, J.S. (2011). *Automatic environmental quality assessment for mixed–land zones using LiDAR and intelligent techniques. Expert Systems with Applications, 38(6), 6805–6813.*
83. Stal, C., Tack, F., De Maeyer, P. [and other]. (2013). *Airborne photogrammetry and LiDAR for DSM extraction and 3D change detection over an urban area – a comparative study. International Journal of Remote Sensing, 34(4), 1087–1110.*
84. Teo, T.–A., Shih, T.–Y. (2013). *LiDAR–based change detection and change–type determination in urban areas. International Journal of Remote Sensing, 34(3), 968–981.*
85. Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E. [and other]. (2010). *Performance evaluation of automated approaches to building detection in multisource aerial data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65, 123–133.*
86. Dong, L., Shan, J. (2013). *A comprehensive review of earthquake–induced building damage detection with remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 84, P. 85–99.*
87. Baltsavias, E. P. (2004). *Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: Current status and steps towards operational systems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58, 129–151.*
88. Vu, T.T., Yamazaki, F., Matsuoka, M. (2009). *Multi–scale solution for building extraction from LiDAR and image data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11, 281–289.*

89. Zhang, L., Xu, T., Zhang, J. (2012). Building extraction based on multiscale segmentation. *5th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, October 16–18, 2012, 657–661.
90. Perron, J.T., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E. (2009). Formation of evenly spaced ridges and valleys, 460, 502–505.
91. Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J. [and other]. (2006). Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73, 131–148.
92. Schulz, W.H. (2007). Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89, 67–87.
93. Dong P. (2012). A framework for automated assessment of post-earthquake building damage using geospatial data. *International Journal of Remote Sensing*, 33, 81–100.
94. Zhu, Q., Hu, M., Zhang, Y. (2009). Research and practice in three-dimensional city modeling. *Geo-Spatial Information Science*, 12, 18–24.
95. Giannotti, F., Pedreschi, D. (2008). *Mobility, Data Mining and Privacy: Geographic Knowledge Discovery*. Springer, Berlin, 412.
96. Zhang, X., Du, S. (2015). A linear dirichlet mixture model for decomposing scenes: Application to analyzing urban functional zonings. *Remote Sensing of Environment*, 169, 37–49.
97. Wen, D., Huang, X., Zhang, L. (2016). A novel automatic change detection method for urban high resolution remotely sensed imagery based on multiindex scene representation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(1), 609–625.
98. Kabolizade, M., Ebadi, H., Ahmadi, S. (2010). An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and LiDAR data. *Computers, Environment and Urban System*, 34, 435–441.
99. Susaki, J. (2013). Knowledge-based modeling of buildings in dense urban areas by combining airborne LiDAR data and aerial images, 5, 5944–5963.
100. Ng, E. (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, 44(7), 1478–1488.



UDC 911.2:551.58

*Varduhi Gurgenovna Margaryan,*

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,  
Yerevan State University, 1 Alek Manoukian Str., Yerevan, 0025, Armenia,  
E-mail: [vmargaryan@ysu.am](mailto:vmargaryan@ysu.am), <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>

## ASSESSMENT OF CLIMATIC TREND OF AIR TEMPERATURE AT THE EARTH SURFACE IN THE CONTEXT OF STABLE DEVELOPMENT (CASE OF GYUMRI CITY)

**В. Г. Маргарян. ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В КОНТЕКСТЕ СТАБИЛЬНОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ГЮМРИ).** Изучение и оценка колебаний температуры воздуха, в особенности в условиях ожидаемых изменений климата, приобретает особую актуальность и спешку. В то же время оценка временных изменений температуры воздуха важна как гарантия стабильного развития и залог перспективного развития экономики.

Целью данной работы является выяснить, проанализировать и оценить закономерности динамики изменения температуры воздуха в городе Гюмри.

Для решения этой задачи собраны, уточнены и проанализированы результаты фактических наблюдений за температурой воздуха метеостанции Гюмри, которые хранятся в фонде данных «Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления» МЧС Республики Армения. В процессе исследования проанализированы и уточнены соответствующие литературные источники, использованы математико-статистический, экстраполяционный, интерполяционный и корреляционный методы.

Получена многофакторная корреляционная связь между средней годовой температурой воздуха и абсолютным максимальным и минимальным значениями города Гюмри. Тесная корреляционная связь получена также между средними годовыми и экстремальными значениями температур приземного слоя воздуха и абсолютных максимальных и минимальных значений поверхности почвы города Гюмри. Это дает возможность рассчитать значение какой-либо характеристики температуры, имея другое. Отметим, что зимой средние значения температуры воздуха мало отличаются от средних значений температуры поверхности почвы. Эта разница растет и достигает максимума летом (июль-август).

В результате исследования выяснилось, что согласно фактическим данным температуры воздуха, в городе Гюмри наблюдается тенденция роста значений средних годовых и абсолютных максимальных температур воздуха, а абсолютных минимальных значений – тенденция понижения (в абсолютном смысле). То есть, на изучаемой территории в теплое время года ожидается рост засушливости и осушения климата, а в холодное время года – смягчение.

Такая закономерность присуща также другим регионам республики. Поэтому необходимо осуществление комплексных мероприятий по адаптации к последствиям изменения температуры воздуха, а также учесть это при разработке программ социального, экологического и экономического развития.

**Ключевые слова:** температура воздуха, климатический тренд, динамика изменения, изменение климата, стабильное развитие, Гюмри.

**В. Г. Маргарян. ОЦІНКА КЛІМАТИЧНОГО ТРЕНДУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ГЮМРІ).** Вивчення і оцінка коливань температури повітря, особливо в умовах очікуваних змін клімату, набуває особливої актуальності і спешки. У той же час оцінка тимчасових змін температури повітря важлива як гарантія сталого розвитку й запоруки перспективного розвитку економіки.

Метою даної роботи є з'ясувати, проаналізувати і оцінити закономірності динаміки зміни температури повітря в місті Гюмрі.

Для вирішення цього завдання зібрані, уточнені і проаналізовані результати фактичних спостережень за температурою повітря метеостанції Гюмрі, які зберігаються у фонді даних «Служби по гідрометеорології та активному впливу на атмосферні явища» МНС Республіки Вірменія. У процесі дослідження проаналізовано та уточнено відповідні літературні джерела, використано математико-статистичний, екстраполяційний, інтерполяційний і кореляційний методи.

Отримано багатофакторний кореляційний зв'язок між середньою річною температурою повітря і абсолютним максимальним і мінімальним значеннями міста Гюмрі. Тісний кореляційний зв'язок отримано також між середніми річними і екстремальними значеннями температур приземного шару повітря і абсолютними максимальними і мінімальними значеннями поверхні ґрунту міста Гюмрі. Це дає можливість розрахувати значення будь-якої характеристики температури, маючи інші. Відзначимо, що взимку середні значення температури повітря мало відрізняються від середніх значень температури поверхні ґрунту. Ця різниця зростає і досягає максимуму влітку (липень-серпень).

В результаті дослідження з'ясувалося, що згідно з фактичними даними температури повітря, в місті Гюмрі спостерігається тенденція зростання значень середніх річних і абсолютних максимальних температур повітря, а абсолютних мінімальних значень – тенденція зниження (в абсолютному значенні). Тобто, на території, що вивчається, в теплу пору року очікується зростання посушливості і осушення клімату, а в холодну пору року – пом'якшення.

Така закономірність властива також іншим регіонам республіки. Тому необхідне здійснення комплексних заходів щодо адаптації до наслідків зміни температури повітря, а також врахувати це при розробці програм соціального, екологічного та економічного розвитку.

**Ключові слова:** температура повітря, кліматичний тренд, динаміка зміни, зміни клімату, сталий розвиток, Гюмрі.

### Introduction

Air temperature characterizes the state of one of the climate system's components - the atmosphere. This is determined by the peculiarities of solar energy distribution on the earth's surface, processes of interaction between the connections of the climatic system. The role of air temperature is very important in the formation of runoff, evaporation, in the formation and disappearance of ice phenomena, in heat and moisture circulation, as well as during

frosts, droughts and desertification. The role of the thermal regime is vital in water consumption and crop production.

Therefore, the identification and assessment patterns of temporal air temperature distribution is of particular importance, especially in water balance, the effective use of thermal resources.

Therefore, taking into account the above, the purpose of the work was to identify, analyze and evaluate patterns of dynamics change of the air temperature of Gyumri city.

To solve the suggested problems appropriate researches [2, 6-7, 13, 17-18, 20-21] have been used as a theoretical base. As the source material – the actual data of long-term observations of the air temperature of the Gyumri weather station, stored in the funds of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia «Service for hydrometeorology and active influence on atmospheric phenom-

ena». As a methodological basis the following methods were applied in the work: complex, mathematical-statistical, geographical, correlation, extrapolation, analysis.

#### Study area

Gyumri weather station is located in the regional center of Shirak marz of the Republic of Armenia, in Gyumri city, at an altitude of 1523 m (Fig. 1). By population (119.9 thousand inhabitants, as of January 1, 2014) and by its significance it continues to be considered the second city of Armenia, after the capital Yerevan. The western part of the city is high, consisting of two heights, table shaped. The relief is flat, slightly dissected, covered with lake-river and volcanic sediments 300-350 m thick located in the 8-9 points seismic zone. The Gyumri, Jajur and Cherkez small rivers flow through the territory of Gyumri.

Gyumri is located in the northern part of the



Fig. 1. Location of Gyumri city in the Shirak region

Shirak plain, on the left bank of the Akhurian River, originating from Lake Arpi. It is located at a distance of 118 km from Yerevan, the height above sea level is about 1550 m. The Shirak plain is surrounded by the Pambak mountain range from northeast, east and southeast, its mountain spurs are 52-100 m from the meteorological area, exceeding its height by 200-500 m. Mountain Aragats (4090 m) lies in

the northeast area, at a distance of about 40 km. All surrounding mountains are covered with grassy vegetation.

Gyumri meteorological station was founded in 1843, where continuous meteorological observations have been carried out since 1893. However, in 1961, the place of the meteorological area was changed, as a result of which the uniformity of

number of observations was disturbed. Thus, in the paper, the actual data of air temperature observations from 1961-2018 are discussed and analyzed.

**Results**

The paper collected and processed the results of actual observations of the air temperature of Gyumri weather station, which are summarized in Table 1.

In general, the climate of Gyumri is continental with relatively warm summers and cold winters. The average amplitude of the annual fluctuations in air temperature is 23.2-35.8 °C, the absolute amplitude is 50.8-68.9 °C. In winter there are sometimes severe frosts, the minimum temperature can drop to -36.0. The winter is snowy and cold and lasts from December to March inclusive. Spring is short and cool. It lasts only 1.5 months. Summer is relatively warm, from the beginning of June to the end of September. Autumn stands out for its warmth. Autumn months are warmer than spring months. This is an important feature of the thermal regime not only of the study area, but also of the republic. The reason is that in spring there is still snow cover. Snow melts, it is cloudy and precipitation is heavy. The number of sunny days per year in Gyumri is the biggest in the republic. The average annual rainfall is 340-736 mm (average 500 mm).

In the study area, the warmest months are July-August, with an average monthly air temperature of 19.9, and coldest one is January, with an average monthly air temperature of - 8.56 (Table 1). According to the average annual air temperature in Gyumri, the coldest year was 1973, and the warmest year was 2018. It is necessary to note that 2010, 2018

were also the warmest years in Armenia for the entire period of observation.

The absolute minimum air temperature for the entire observation period was recorded on January 21 1972 and was -36.0 °C, the absolute maximum value was recorded on July 9 1986 and was 38.0 °C.

Thus, during the year there is a well pronounced course of average absolute maximum and minimum air temperature values (fig. 2). During the year, according to the actual daily average data, the monthly average maximum values are observed in July, and the minimum values – in January. In some years, the lowest average monthly air temperature can also be observed in December or February. Sometimes there may be years when equal values of mean monthly air temperature are observed in July and August during the year. The average minimum and average maximum values of air temperature also have a well-defined inter-annual distribution: minimum values are observed in January, maximum values – in July-August.

A multi-factorial correlation relationship (correlation  $R=0,68$ ) between the average annual air temperature ( $\bar{T}$ ) and absolute maximum ( $T_{max}$ ) and absolute minimum ( $T_{min}$ ) values of Gyumri city was obtained. This relationship can be expressed as the following equation:

$$\bar{T} = 0,17T_{max} + 0,15T_{min} + 4,71.$$

This will make it possible to pre-calculate the average annual air temperature, having absolute maximum and minimum values.

Table 1

Monthly and annual average and extreme values of air temperature  
At the meteorological station of Gyumri

Months												Year
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<b>Average</b>												
-8.56	-6.97	-0.12	7.01	11.7	15.9	19.9	19.8	15.6	8.89	1.79	-4.97	6,66
<b>Average maximum</b>												
-1.92	0.31	5.74	10.4	13.7	19.8	23.6	23.3	19.2	11.3	5.34	1.20	9,62
<b>Average minimum</b>												
-15.7	-14.5	-6.20	3.40	9.14	13.1	16.9	16.8	12.7	4.04	-3.31	-11.7	4,66
<b>Absolute maximum</b>												
9.20	14.0	21.5	26.8	29.3	33.1	38.0	37.0	35.1	27.4	19.6	17.6	38,0
<b>Average absolute maximum</b>												
3.78	6.02	14.0	21.0	24.7	29.0	32.6	32.7	29.7	23.7	15.4	7.80	33.5
<b>Absolute minimum</b>												
-36,0	-35,0	-27,7	-16,0	-7,60	-3,60	0,30	1,90	-3,70	-12,5	-23,0	-30,0	-36,0
<b>Average absolute minimum</b>												
-24.1	-22.9	-16.2	-6.52	-0.85	3.06	6.98	7.04	1.51	-4.74	-12.0	-20.1	-26.4

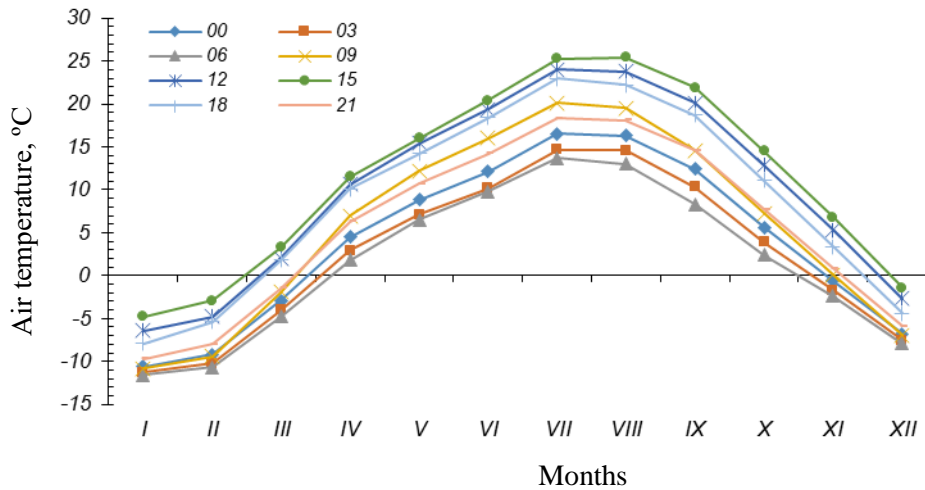


Fig. 2. Annual course of air temperature observed at the meteorological station of Gyumri

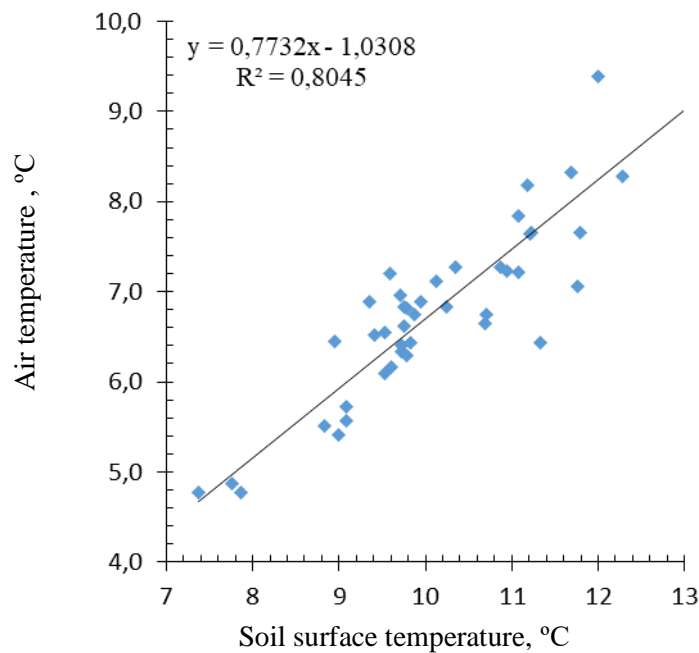


Fig. 3. Correlation link between average annual values of air and soil surface temperature

A close correlation relationship (correlation  $R = 0,90$ ) was also obtained between the air temperature of the surface layer of the atmosphere and the average annual values of the soil surface temperature of Gyumri city (Fig. 3). This will make it possible to calculate the value of any temperature characteristic, having a value of the other. Close correlations are also obtained between the extreme values of air and soil temperatures. This type of dependency is obtained both for individual regions of the republic and for its entire territory. Note that in winter, the average air temperature values differ little from the average temperature of the soil surface. This difference grows and reaches its maximum in summer (July-August).

It is very important to know periods of the average daily temperature transition through certain limits (0, 5, 10, 15 °C) for different sectors of the

economy, in particular, agriculture in spring and autumn, the number of days with these values and their sum. This determines possibility to cultivate a particular crop in a given place. For most agricultural crops, the active growing season begins during the period of average daily temperatures above 10.0 °C. The annual total of active temperatures above 10.0 °C is taken as an indicator of the heat supply of the growing season (Table 2). In the study area this period is on average observed from the beginning of May to the first decade of October and lasts 157 days.

As a result of the research, it has turned out that there is a tendency of growth of average annual and extreme (absolute maximum) values in the air temperature of Gyumri city (Fig. 4, 5). We note that this pattern is also characteristic of other regions of the republic and the world. [1, 3-5, 8-12, 14-16, 21].



The dynamics of changes in the air temperature of Gyumri city in a monthly section was also studied. It shows dynamics of changes in the values of average annual and absolute maximum monthly air temperature, characterized by a tendency of growth except the values of December. As for the values of absolute minimum monthly air temperatures, it should be noted that with the exception of April, there is a tendency of monthly values growth for all other months. This means that in Gyumri, in the warm period of the year an increase in aridity and climate drainage is expected in the region, in the cold period of the year – mitigation, and in December – an increase in severe weather. We note that in the study area there is also a tendency of growth in the annual values of heat indices.

These changes will have an inevitable consequence on the change in the components of the hydrothermal balance of the study area, imbalance of ecosystems, as well as on the social, ecological and economic development of the city. Therefore, an ecosystem approach should be adapted to this change in air temperature and to implement integrated adaptation measures to mitigate the effects of change.

The paper attempts to determine the average annual air temperature values of the city of Gyumri in 2030, 2070 and 2100 using the extrapolation method. As a result, it has turned out that if the move above the indicated change continues, the average

annual value of air temperature will increase compared to the current norm: in 2030 - 0,09 °C (1,37 %), in 2050 - 0,27 °C (4,12 %), in 2070 - 0,48 °C (7,32 %), in 2100 - 0,85 °C (13 %).

In Gyumri city we have a stocking factory, sugar and beer factories. «Gyumri», «Alexandropol» beer factories, «Lusastgt Shugre» Armenian-American building units and etc. are also known here. It means that the increase in air temperature in Gyumri is mainly due to the microclimatic and local features of city. So, in order to reduce or prevent further increase in air temperature, it is very important to plant a green area and create small pools. On the other hand, it is necessary to monitor the implementation and preservation of these works.

Changes in air temperature and precipitation in Armenia are estimated for different periods, and results of which are used in the first, second and third national communications of the Climate Change of Armenia [15-16]. The results show that over the past decades there has been a significant increase in air temperature in Armenia. Moreover, in 1935-96 in relation to the base period (1961-1990) the average annual temperature increased by 0.4 °C, in 1935-2007 period - by 0.85 °C, in 1935-2012 - by 1.03 °C. These results show that temperature increases significantly. Since 1994, deviations of average annual temperatures compared with the average for 1961-1990 were only positive.

Table 2

Total average daily temperatures through 0; 5,0; 10,0; 15,0 °C in spring and autumn, the increasing order

Air temperature, °C	Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,0			12	206	566	1022	1618	2213	2661	2919	2982	
5,0				156	516	972	1568	2164	2612	2869		
10,0					314	770	1366	1962	2409	2642		
15,0						568	863	1459	1661			

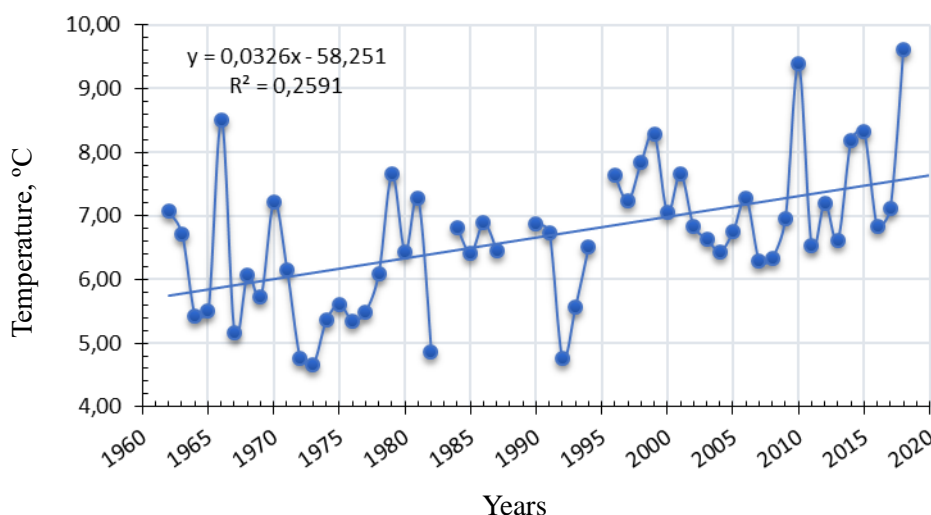


Fig. 4. Dynamic change of average annual values of air temperature in Gyumri

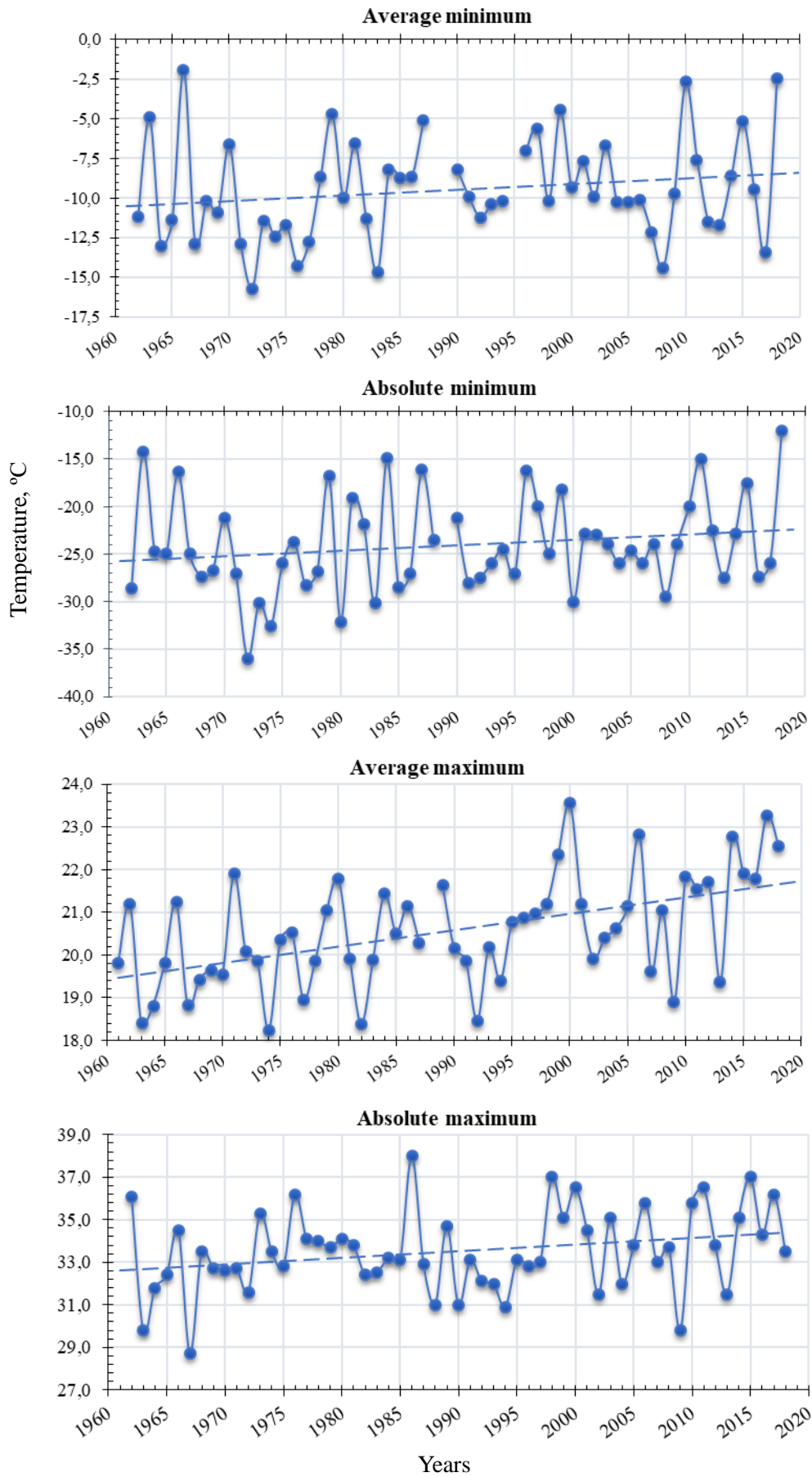


Fig. 5. Dynamic change of average annual minimum and maximum, absolute minimum and absolute maximum of air temperature in Gyumri

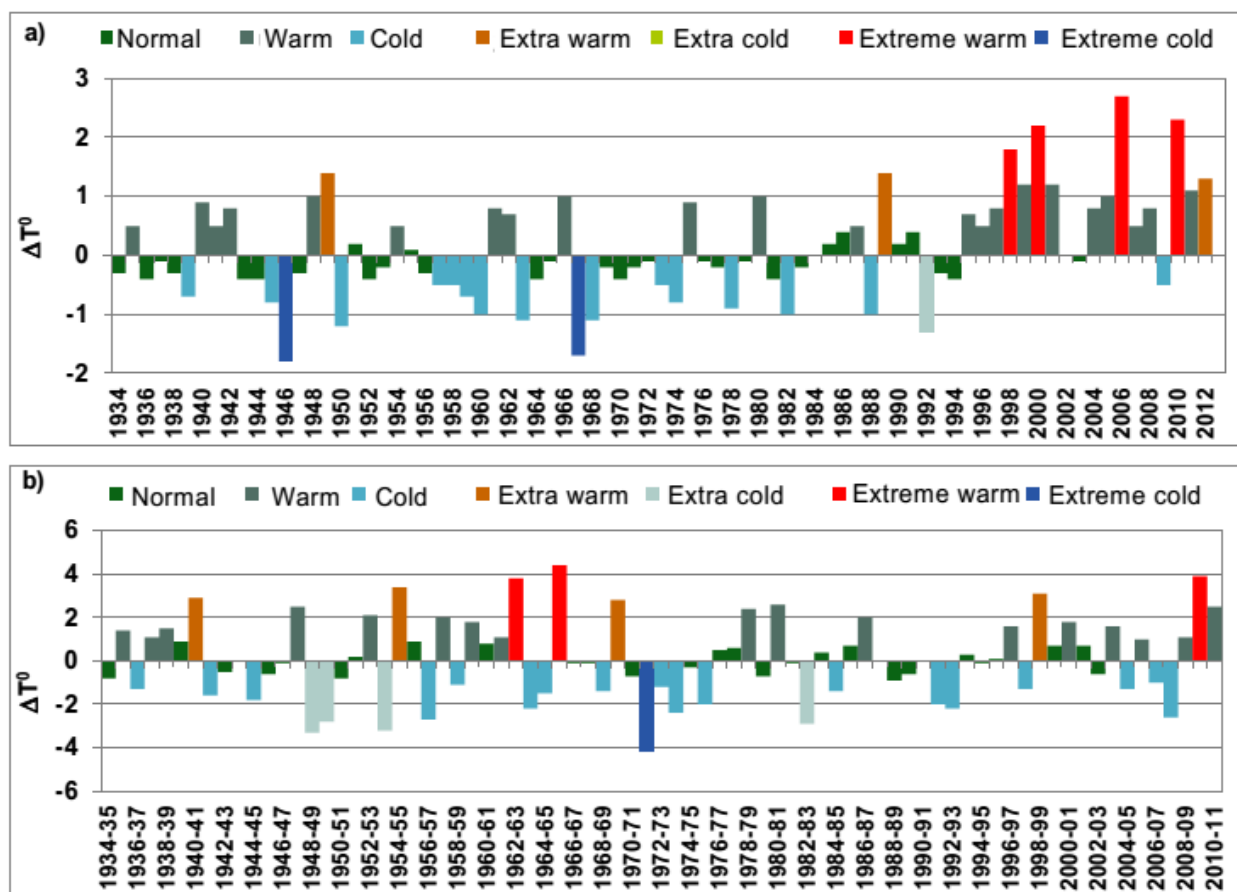


Fig. 6. Deviation of summer (a) and winter (b) temperatures in the territory of Armenia in 1935-2012 from the average values for 1961-1990 [15].

Over various seasons of the year ambient air temperature changes exhibit different trends. In 1935-2011 the summer average temperature increased by about 1.1 °C, and extremely hot summers have been observed over the last 17 years (1998, 2000, 2006, 2010) (Fig. 6a). Winter temperature changes look different: seasonal mean temperature increases are insignificant at 0.40C (Fig. 6b) [15].

The regional climate model allows to obtain more detailed information on climate in the regional scale. It is the Hadley Centre model HadRM3P, identical with the regional climate model (RCM) used within PRECIS with horizontal resolution 0.22° x 0.22° (25 x 25 km). It uses data from the HadAM3P atmosphere-only global model to provide its lateral boundary conditions. The HadRM3P model simulation output data for the baseline period of 1961-1990 and the future projections of the climate (2071-2100) for A2 emission scenario have been studied in detail. Averaged results of the forecasts for Shirak, made with MAGICC/SCENGEN computer software, are presented in Tab. 3. Significant and continuous increase in temperature is forecasted by both various GCMs, as well as by the aggregate mean. All GCMs indicate exceptional warming throughout the year: the increase in tem-

perature is somewhat higher in hot months of the year, as compared to the cold ones, thus underlining the trend of continuous increase, if not intensification, from the one observed in Armenia during the 20th century [19].

Temperature changes in different regions of the territory of the Republic of Armenia and in different seasons have different tendency. Table 3 shows changes in seasonal and annual temperatures compared to the average for 1961-1990, according to PRECIS model under A2 scenario of IPCC in Shirak [19].

However, according to our research, the indicated values of the air temperature change are rather higher than the values of the expected air temperature change in Gyumri. Therefore, the assessment and management of dynamic changes in air temperature as well as the processing of mitigation parts, need to be done locally, especially in mountainous countries.

### Conclusions

Thus, the research results have led to the following conclusions and suggestions:

- The features and patterns of the spatial- temporal distribution of air temperature are caused by

Changes in seasonal and annual temperatures (°C) compared to the average for 1961-1990, according to PRECIS model under A2 scenario of IPCC [19]

Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
<b>2030</b>				
1	1	1	1	1
<b>2070</b>				
3	3	3	3	3
<b>2100</b>				
3-5	3-5	3-6	4-6	4-6

the complex effect of physical-geographic and anthropogenic factors;

- In a number of long-term data, there is a tendency of average annual and extreme values of air temperature growth;

- Despite many studies that have been done, so far there are no systematic studies to identify the causes of changes in air temperature and the available ones concern only its individual aspects. So, it is advisable to continue systematic and comprehensive research and develop further forecasts using new models;

- assessing the tasks of changing air temperature will get the right decision in the event that it reveals the connections with other components of the complex natural space under conditions of direct human exposure.

It is necessary to:

- re-equip Gyumri weather station with modern equipment (especially automatic);

- raise public awareness of climate change and its effects;

- assess ecosystem's vulnerability due to chan-

ges in air temperature;

- implement organizational, legal, institutional, technical measures to mitigate the effects of climate change and adapt the economy to new environmental condition;

- strengthen scientific studies of climatic problems and introduce new technologies;

- develop real climate scenarios;

- develop programs of measures aimed at mitigating the negative effects of changes in air temperature;

- finance sufficient implementations by the state and foreign donor organizations The implementations made should be transparent to society, aimed at some specific programs and monitored by disinterested bodies;

- develop and implement advanced training programs, periodic organization of educational processes, professionally develop specialists;

- implement and provide international scientific and educational cooperation, strengthening interdepartmental cooperation.

#### References

1. Fei Ji Chassignet Evolution of land surface air temperature trend [Text] / Fei Ji, Zhaohua Wu, Jianping Huang and Eric P. // Article in Nature Climate Change. Published online: 4 May 2014. <https://doi.org/10.1038/nclimate2223>.
2. Маргарян В.Г. Закономерности пространственно-временных изменений температуры воздуха в Республике Армения [Текст] / В.Г. Маргарян. // Агронаука научный журнал. – Ер.: Изд-во: ЗАО РЦССХ., 2005. – № 7-8. – С. 361-367. [На армянском языке]
3. Margaryan, V.G. The features of air thermal behavior (1935-2006) in Armenia [Text] / V.G. Margaryan // Abstracts of the International Geographical Union Regional Conference "Bridging Diversity in a Globalizing World" CD – ROM, Tel Aviv, Israel, 2010.
4. Margaryan, V.G. The dynamics change of average annual values of air temperature in instrumental period (on the pattern of mountainous territory of the Republic of Armenia) [Text] / V.G. Margaryan // The Conference Global Climate Observation: the Road to the Future, 2-4 March, Amsterdam, pp. 37-38. – 2016. Available at: Abstracts\_GCOS\_Science\_Conference\_2-4March2016.pdf (accessed: 20.06.2016).
5. Margaryan, V.G. The problems of change climate conditions for the period of over the last century over mountainous territory of Armenian Republic [Text] / V.G. Margaryan // Abstract book: Zaragoza 5th Open Science Meeting. Global challenges for our Common Future a Paleoscience Perspective, 9-13 May, Zaragoza, Spain. –2017. – P. 310.
6. Margaryan, V.G. Estimation of dynamics change of atmospheric air temperature of ground layer of Gyumri city [Text] / V.G. Margaryan // Book of abstracts. 3rd international scientific conference Geobalkanica 2017. 20-21 May, 2017. Skopje, Republic of Macedonia. – 2017. – P. 27.
7. Margaryan, V.G. Analysis and assessment of regularities of temporary changes of ground layer air temperature (on the example of Gyumri city) [Text] / V.G. Margaryan // 3rd International Conference Environment and Sustainable



- Development of Territories: Ecological Challenges of the 21st Century. Kazan, Russia 27–29 September 2017. 2017. – Pp. 204-208.*
8. Margaryan, V.G. *Assessment of the Dynamics of Changes in Extremely High Temperatures of Atmospheric Air in the Surface Layer of Large Cities of Armenia in the Context of Stable Development [Text] / V.G. Margaryan // 10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment. August 6-10, 2018, New York City, USA.*
  9. Margaryan, V.G. (2018). *Evaluation the dynamics change of annual air temperature in instrumental period over mountainous regions of Armenian Republic. [Text] / V.G. Margaryan // Book of Abstracts: GEWEX Convection-Permitting Climate Modeling, II Sept. 4–6, 2018, Boulder, CO, USA. – P. 28.*
  10. Margaryan, V.G. *The vulnerability and risk assessment of agricultural crops in the conditions of expected climate change in the Republic of Armenia [Text] / V.G. Margaryan, G.V. Guloyan // Book of Abstracts: MACSUR Science Conference, 22–24 May, Berlin, 2017. – P. 103.*
  11. Margaryan, V.G. *Assessment of viticulture and winemaking vulnerability in the expected conditions of climate change in Ararat valley and foothills [Text] / V.G. Margaryan, M.S. Mkhitarian // Book of Abstracts: MACSUR Science Conference, 22–24 May, Berlin. -2017. - p. 102.*
  12. Margaryan, V.G. *Assessment and analysis of heat provision vulnerability in the main wine-producing region of Armenia (Ararat valley and foothill area) within the context of expected climate change [Text] / V.G. Margaryan, M.S. Mkhitarian // Ukrainian hydrometeorological journal. – 2018. – Issue 21. – Pp. 28-34.*
  13. Margaryan, V.G. *Estimation of dynamics change of average and extreme annual values of atmospheric air temperature of ground layer of Gyumri [Text] / V.G. Margaryan, L.M. Simonyan // ICUC9 - 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate jointly with 12<sup>th</sup> Symposium on the Urban Environment. Toulouse. July 20-24. – 2015.*
  14. Mei Zhao Pitman *The impact of land cover change and increasing carbon dioxide on the extreme and frequency of maximum temperature and convective precipitation [Text] / Mei Zhao and Andrew J. Pitman // Geophysical research letters. – 2002. – Vol. 29. – No. 6. <https://doi.org/10.1029/2001gl013476>.*
  15. *Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia. Armenia's Third National Communication on Climate Change [Text]. – Yerevan: Lusabats. – 2015. – 165 p.*
  16. *Нынешнее состояние климатических служб и перспективы развития в Армении [Текст] // Министерство чрезвычайных ситуаций Республики Армения. Государственная служба гидрометеорологии и мониторинга. – Ер., 2013. – 62 с. [На армянском языке]*
  17. Richard Wartenburger. *Seneviratne Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework [Text] / Geosci. Richard Wartenburger, Martin Hirschi, Markus G. Donat, Peter Greve, Andy J. Pitman, and Sonia I // Model Dev., 10. –2017. – Pp. 3609–3634.*
  18. Santer, B.D. et al. *Statistical significance of trends and trend differences in layer-average atmospheric temperature time series. [Text] / B.D. Santer, T.M.L. Wigley, J.S. Boyle, D.J. Gaffen, J.J. Hnilo, D. Nychka, D.E. Parker and K.E. Taylor // Journal of geophysical research. – Vol. 105. – 2000. – No. D6. – Pp. 7337–7356, 7337–7356.*
  19. *Second National Communication of the Republic of Armenia under the UNFCCC. Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia, UNDP/GEF Armenia 2010 [Text] / – Yerevan, «Lusabats» Publishing House. – 2010. – 132 p.*
  20. *Варданян Т.Г. Метеорология и климатология. Учеб. пособие для вузов [Текст] / Т.Г. Варданян, В.Г. Маргарян. – Ереван: Изд-во «Астхик Гратун», 2014. – 532 с. [На армянском яз.]*
  21. Wu, Z. *On the time varying trend in global-mean surface temperature [Text] / Zhaohua Wu, Norden E. Huang, John M. Wallace, Brian V. Smoliak, Xianyao Chen // Clim. Dynam. – No. 37. – Pp. 759–773. Springer-Verlag 2011. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1128-8>*

UDC 911.2:551.58

**Varduhi Margaryan,**

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Yerevan State University, 1 Alek Manoukian Str., Yerevan, 0025, Armenia,  
e-mail: [vmargaryan@ysu.am](mailto:vmargaryan@ysu.am), <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>

#### **ASSESSMENT OF CLIMATIC TREND OF AIR TEMPERATURE AT THE EARTH SURFACE IN THE CONTEXT OF STABLE DEVELOPMENT (CASE OF GYUMRI CITY)**

**Formulation of the problem.** The study and assessment of air temperature fluctuations, especially in conditions of expected climate change, is of particular relevance and haste. At the same time, the assessment of temporary changes in air temperature is important as a guarantee of stable development and a long-term economic development.

**The purpose of the article.** The purpose of this work is to find out, analyze and evaluate the patterns of the dynamic changes in air temperature in Gyumri city.

To solve this problem, the results of actual observations of the air temperature of the Gyumri weather station, stored at the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia «Service for Hydrometeorology and active influence on atmospheric phenomena» have been collected, refined and analyzed.

**Methods.** In the course of research we analyzed and clarified appropriate literary sources, using mathematical-statistical, extrapolation, complex, analyze and correlation methods.

**Results.** A multifactorial correlation relationship was obtained between the average annual air temperature and its absolute maximum and minimum values of Gyumri city. A close correlation was also obtained between the average annual air temperature and its absolute maximum and minimum values of Gyumri city, between the average annual and extreme values of the surface air temperature and the absolute maximum and minimum values of the soil surface of Gyumri city. This makes it possible to calculate the value of any temperature characteristic, while having the other one. Note that in winter the average air temperature values do not differ much from the average soil surface temperature values. This difference grows and reaches its maximum in summer (July – August).

As a result of the research, it turned out that according to the actual data on the air temperature in Gyumri city, there was a tendency for the average annual values and absolute maximum of the air temperature to rise, while the absolute minimum values showed a downward trend (in the absolute sense). That is, in the study area in the warm season, an increase in aridity is expected on climate drainage, and in the cold season – a softening.

In the work we tried to define the monthly average values of air temperature in Gyumri in 2030, 2070, 2100, using the extrapolation method. The result shows that if the changing process continues, the annual average values of air temperature will increase with comparison to current normal: in 2030 – 0.09 °C (1.37 %), in 2050 – 0.27 °C (4.12 %), in 2070 – 0.48 °C (7.32 %), in 2100 – 0.85 °C (13 %).

This pattern is also characteristic of other regions of the republic. Therefore, it is necessary to implement integrated measures to adapt to the effects of air temperature changes and take this into account when working out programs for social, environmental and economic development.

**Keywords:** air temperature, change in dynamics, climatic trend, stable development, Gyumri.

#### References

1. Fei Ji, Zhaohua Wu, Jianping Huang and Eric P. (2014). Chassignet Evolution of land surface air temperature trend. Article in *Nature Climate Change*. Published online: 4 May 2014. <https://doi.org/10.1038/nclimate2223>.
2. Margaryan, V.G. (2005). Regularities of spatiotemporal changes of air temperature in the Republic of Armenia. *Agrogitutyun*, № 7-8. Ministry of agriculture RA agrosience, ASRC CJSC, Yerevan, 361-367. [In Armenian]
3. Margaryan, V.G. (2010). The features of air thermal behavior (1935-2006) in Armenia. Abstracts of the International Geographical Union Regional Conference “Bridging Diversity in a Globalizing World” CD – ROM, Tel Aviv, Israel.
4. Margaryan, V.G. (2016). The dynamics change of average annual values of air temperature in instrumental period (on the pattern of mountainous territory of the Republic of Armenia). The Conference Global Climate Observation: the Road to the Future, 2-4 March, Amsterdam, 37-38. Available at: [Abstracts\\_GCOS\\_Science\\_Conference\\_2-4March2016.pdf](#) (accessed: 20.06.2016).
5. Margaryan, V.G. (2017). The problems of change climate conditions for the period of over the last century over mountainous territory of Armenian Republic. Abstract book: Zaragoza 5th Open Science Meeting. Global challenges for our Common Future a Paleoscience Perspective, 9-13 May, Zaragoza, Spain, 310.
6. Margaryan, V.G. (2017). Estimation of dynamics change of atmospheric air temperature of ground layer of Gyumri city. Book of abstracts. 3rd international scientific conference Geobalcanica 2017. 20-21 May, 2017. Skopje, Republic of Macedonia, 27.
7. Margaryan, V.G. (2017). Analysis and assessment of regularities of temporary changes of ground layer air temperature (on the example of Gyumri city). 3rd International Conference. Environment and Sustainable Development of Territories: Ecological Challenges of the 21st Century. Kazan, Russia 27–29 September 2017, 204-208.
8. Margaryan, V.G. (2018). Assessment of the Dynamics of Changes in Extremely High Temperatures of Atmospheric Air in the Surface Layer of Large Cities of Armenia in the Context of Stable Development. 10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment. August 6-10, 2018, New York City, USA.
9. Margaryan, V.G. (2018). Evaluation the dynamics change of annual air temperature in instrumental period over mountainous regions of Armenian Republic. Book of Abstracts: GEWEX Convection-Permitting Climate Modeling, II Sept. 4–6, 2018, Boulder, CO, USA, 28.
10. Margaryan, V.G., Guloyan, G.V. (2017). The vulnerability and risk assessment of agricultural crops in the conditions of expected climate change in the Republic of Armenia. Book of Abstracts: MACSUR Science Conference, 22–24 May, Berlin, 103.
11. Margaryan, V.G., Mkhitarian, M.S. (2017). Assessment of viticulture and winemaking vulnerability in the expected conditions of climate change in Ararat valley and foothills. Book of Abstracts: MACSUR Science Conference, 22–24 May, Berlin, 102.

12. Margaryan, V.G. and Mkhitarian, M.S. (2018). Assessment and analysis of heat provision vulnerability in the main wine-producing region of Armenia (Ararat valley and foothill area) within the context of expected climate change. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 2018, 21, 28-34.
13. Margaryan, V.G. and Simonyan, L.M. (2015). Estimation of dynamics change of average and extreme annual values of atmospheric air temperature of ground layer of Gyumri. ICUC9 - 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate jointly with 12<sup>th</sup> Symposium on the Urban Environment. Toulouse, July 20-24.
14. Mei Zhao and Andrew J. Pitman (2002). The impact of land cover change and increasing carbon dioxide on the extreme and frequency of maximum temperature and convective precipitation. *Geophysical research letters*, 29, 6. <https://doi.org/10.1029/2001gl013476>.
15. Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia (2015). *Armenia's Third National Communication on Climate Change*. Yerevan: Lusabats, 165.
16. Nowadays situation of climate services and perspectives of developing in Armenia (2013). Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia. State service of hydrometeorology and monitoring. Yerevan, 62 [In Armenian]
17. Richard Wartenburger, Martin Hirschi, Markus G. Donat, Peter Greve, Andy J. Pitman, and Sonia I. (2017). Sen- eviratne Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework. *Geosci. Model Dev.*, 10, 3609–3634.
18. Santer, B.D. et al. (2000). Statistical significance of trends and trend differences in layer-average atmospheric temperature time series. *J. Geophys. Res.* 105, 7337–7356.
19. Second National Communication of the Republic of Armenia under the UNFCCC. (2010). Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia, UNDP/GEF Armenia 2010. Yerevan, «Lusabats» Publishing House, 132.
20. Vardanian, T.G., Margaryan, V.G. (2014). *Meteorology and climatology. Textbook for High Schools*. Yerevan, Publishing house «Astghik Gratun», 532.
21. Wu, Z., Huang, N. E., Wallace, J. M., Smoliak, B. V. & Chen, X. (2011). On the time varying trend in global-mean surface temperature. *Clim. Dynam.* 37, 759–773. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1128-8>

UDC 556.16

**Valeriya Anatolievna Ovcharuk,**

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor,  
Director of the Hydrometeorological Institute of Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str., 65016, Odessa, Ukraine,  
e-mail: [valeriya.ovcharuk@gmail.com](mailto:valeriya.ovcharuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1638-841X>;

**Oleg Miloslavovich Prokofiev,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [leggg0707@gmail.com](mailto:leggg0707@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5669-0181>;

**Olena Ivanivna Todorova,**

PhD (Geography), Senior Lecturer,  
Department of Land Hydrology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [lenochka.todorova1989@gmail.com](mailto:lenochka.todorova1989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8937-7952>;

**Natalia Sergiyvna Kichuk,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Land Hydrology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [kichuknatali@ukr.net](mailto:kichuknatali@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8165-6743>

## THE STUDY OF THE PERIODICITY OF CATASTROPHIC SPRING FLOODS ON THE TERRITORY OF UKRAINE

*В. А. Овчарук, О. М. Прокоф'єв, О. І. Тодорова, Н. С. Кічук. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВТОРЮВАНOSTІ КАТАСТРОФІЧНИХ ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ. В статті представлені результати аналізу історичних даних про визначні паводки і водопілля катастрофічного характеру, оцінено їх повторюваність в історичному контексті і на сучасних даних. Показано, що як за даними вітчизняних вчених, так й за результатами оцінок міжнародних організацій (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, World Meteorological Organization), для території України найбільша повторюваність небезпечних природних явищ (51,9%) припадає на паводки різного походження. Проаналізовано найбільш тривалі часові ряди максимального стоку весняного водопілля на рівнинних річках України, виконано опис катастрофічних, багатководних і маловодних водопілля. Проведений аналіз підтвердив можливість віднесення водопілля 1932 та 1970 років до категорії катастрофічних за масштабом території, які вони охоплювали – так водопілля 1932 року відмічено в басейнах Дніпра, лівобережжя Дністра, Південного Бугу та Сіверського Дінця, а 1970 року – практично за всією територією басейну Дніпра, а також на річках Приазов'я. В цілому ж найбільш багатководними за тривалий період спостережень, як за загальним об'ємом весняного стоку, так і за максимальними витратами води водопілля в Україні формувалися у 1932, 1942, 1947, 1956, 1960, 1963, 1970, 1971, 1978, 1979, 1980, 1986, 1988, 1994 рр., а маловодні весни припадали на 1944, 1950, 1954, 1962, 1965, 1969, 1975, 1976, 2007, 2008, 2009, 2014, 2015 рр. Аналіз тенденцій у рядах річних максимумів в умовах змін клімату показав їх неоднорідність за територією України, а саме на лівобережжі Дніпра та в басейні Сіверського Дінця спостерігається тенденція до більш ранніх дат сніготанення та проходження водопілля, в той час, коли на решті території навпаки – наявна тенденція до збільшення випадків зимових паводків замість весняних водопілля.*

**Ключові слова:** повені, паводки, водопілля, максимальний стік, зміни клімату.

*В. А. Овчарук, О. М. Прокоф'єв, Е. И. Тодорова, Н. С. Кичук. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ. В статье приведены результаты анализа исторических данных о выдающихся паводках и половодьях катастрофического характера, оценена их повторяемость в историческом контексте и на современных данных. Показано, что как по данным отечественных ученых, так и по результатам оценок международных организаций (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, World Meteorological Organization), для территории Украины наибольшая повторяемость опасных природных явлений (51,9%) приходится на паводки различного происхождения. Проанализированы наиболее длительные временные ряды максимального стока весеннего половодья на равнинных реках Украины, выполнено описание катастрофических, многоводных и маловодных половодий. Выполненный анализ подтвердил возможность отнесения половодья 1932 и 1970 годов в категорию катастрофических по масштабу территории, которые они охватывали. В частности, половодья 1932 года отмечено в бассейнах Днепра, левобережье Днестра, Южного Буга и Северского Донца, а в 1970 году - практически по всей территории Днепра, а также на реках Приазовья. В целом же наиболее многоводными за длительный период наблюдений, как по общему объему весеннего стока, так и по максимальным расходам воды половодья в Украине формировались в 1932, 1942, 1947, 1956, 1960, 1963, 1970, 1971, 1978, 1979, 1980, 1986, 1988, 1994, а маловодные весны приходились на 1944, 1950, 1954, 1962, 1965, 1969, 1975, 1976, 2007, 2008, 2009, 2014, 2015 рр. Анализ тенденций в рядах годовых максимумов в условиях изменений климата показал их неоднородность по территории Украины, а именно на левобережье Днепра и в бассейне Северского Донца наблюдается тенденция к более ранним датам снеготаяния и прохождения половодья, в то время, когда на остальной территории наоборот – наблюдается тенденция к увеличению случаев зимних паводков вместо весенних половодий.*

**Ключевые слова:** наводнения, паводки, половодья, максимальный сток, изменения климата.

**Introduction.** In the period of global and regional climate changes in almost all the regions of our planet there is an increase in cases of extreme

natural phenomena, which definitely include floods of different origin. In the last decades, according to the data of the Centre for Research on the Epidemi-

ology of Disasters (CRED) [1-4], in many countries of the world there is a record high number of natural disasters which affected about 2.7 billion people, that is more than a third of the world's population. Regarding floods, in most parts of the globe, they are caused by prolonged cloudburst and storms as a result of passing cyclones. On the rivers of the Northern Hemisphere, floods are caused by the rapid snowmelt, snow dam and ice jam. In areas with snow cover, which is about 1/3 of the land surface, spring and rain floods are the most common. They are especially widespread in Eurasia and North America.

Flood is formed due to the main source of feeding (on plain rivers due to snowmelt, in high mountains due to melting of snow and glaciers, in monsoon and tropical zones as a result of spring and summer precipitation, etc.). For rivers in one climatic zone, it annually repeats in the same season with different intensity and duration. Snow melting at plain rivers catchments causes the emergence of spring floods, the melting of high mountain snow and glaciers, and also rain falls cause spring-summer and summer floods [5-6]. Sharp and continuous increase in temperature in spring with significant stocks of water in the snow influences greatly the nature of formation and flow of the flood. Floods become catastrophic if the infiltration properties of soils have decreased significantly due to their moisture saturation as a result of abundant autumn rains and deep freezing in severe winters. Spring rains can cause a significant increase of floods, when the snowmelt flood peak coincides with the peak of the rain flood.

According to the size and scale of damage R.A. Nezhikhovsky [7] proposed the classification of floods and divided them into: low (small), high, significant and catastrophic. The catastrophic floods cause enormous material loss and lead to the people's deaths, covering enormous areas within one or more river systems; more than 70% of agricultural land, a large number of settlements, industrial plants and utilities are flooded; economic and production activities are completely paralyzes, the way of life of the population is temporally changed. Periodicity of this phenomenon is once in 100-200 years.

**The aim of the study** is to analyze historical data and study the current state and trends in the frequency of catastrophic spring floods in Ukraine.

**Analysis of previous studies and publications.** First of all historical data on patterns of formation of most famous catastrophic floods has been analyzed. Floods have been accompanying human society since ancient times, so far we have information about catastrophic floods in ancient China (on the Yellow River in 2297 BC) and Egypt (on the Nile River about 3 thousand years ago). At one time

E.P. Borisenkov and V.M. Pasechnik in the monograph «Extreme natural phenomena in the Russian chronicles of the XI-XVII centuries» [8], on the basis of the study of chronicles provided the assessment of climate of Holocene on both the European continent and the entire Northern Hemisphere. The study analyzed in detail extreme meteorological phenomena observed from 979 to 1700 years in the territory from the Vistula to the Ob and from the Black Sea to the shores of the Arctic Ocean. But the most interesting is the final part of the monograph, which summarizes data on extreme natural phenomena. Based on the data [8] on the high spring flood, and taking into consideration the current data the diagram of periodicity of this natural phenomenon in the period from 900 to 2010 on the territory of Kievan Rus' and modern Ukraine has been made up (Figure 1).

While making up the diagram, mostly data on major floods on the Dnieper has been taken into account – the largest floods took place in 1128, 1655, 1684, 1789, 1931, 1932 and 1970. The flood of 1931 was unsurpassed according to the height of water level and flood zone area which spread from Mogilev in the north to Zaporozhye in the south.

The resulting distribution is purely illustrative, but it still makes it possible to assess the overall pattern of catastrophic spring floods repetition. Analyzing their frequency, one can notice that most of them were observed during the periods from 1501 to 1600 (11 cases), from 1601 to 1700 (13 cases) and in the modern period – from 1901 to 2000 (10 cases); 900-1000 and 1701-1800 years – are the periods with the fewest number of cases.

Since the beginning of the new millennium, catastrophic and high floods have been observed in Europe almost every year. "Great Water" in 2002 was the reason for the media to talk about the new World Flood and once again reminded that, despite all the achievements of modern civilization, a human being is sometimes powerless in the face of the power of nature. In August 2002 during a few days large areas of the Czech Republic, Slovakia, Germany, Austria, France, Switzerland, Poland, Italy, Spain, Romania, Moldova, Hungary and Serbia were under water. Floods in 2002 took lives of 3,000 people, the dwellings of 17 million people from over 80 countries were ruined. According to the World Meteorological Organization, the territory with a total area of more than 8 million square kilometers was flooded [9]. The total damage inflicted by the disaster is estimated at \$ 30 billion. According to European experts, it was the largest flood of the century in Europe.

On the territory of Ukraine during the 20th and early 21st centuries, floods of various origin were repeatedly observed, of which the following can be



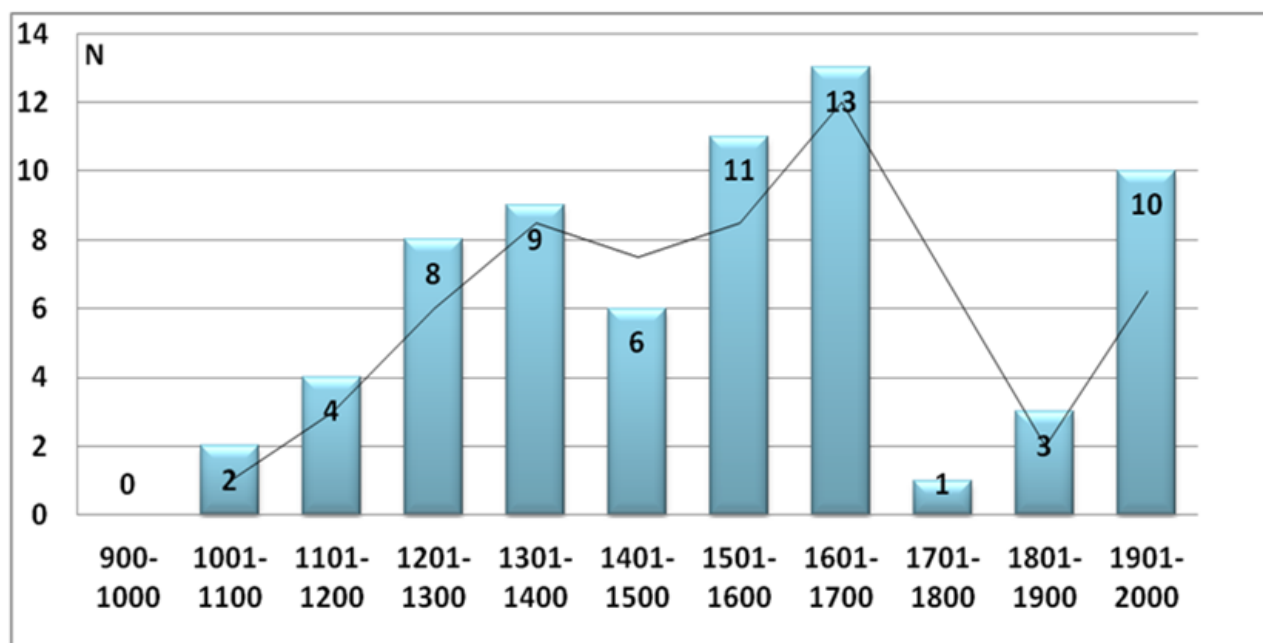


Fig. 1. Time distribution of outstanding spring floods on the territory of Kievan Rus and modern Ukraine: N – number of cases per period.

classified as catastrophic ones [10,11]:

1911 (July, 8<sup>th</sup>-9<sup>th</sup>) – in the basins of the Dniester, Prut and Siret rivers floods were formed from storm rains, which were the largest ones over the entire period of available observations on the area of the river Prut below the influx of the Cheremosh River and in the foothills of the Siret River.

1927 (August, 30<sup>th</sup>-31<sup>st</sup>) – flooding in the basins of the Dniester and Prut rivers led to flooding of 10 cities and numerous villages, destroyed roads, bridges and more.

1931 – an unusually high spring flood in the basin of the Dnieper River. Its level exceeded all previously known floods from the XVIII century; great damage to the population was caused.

1941 (September, 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup>) – an extreme flood in the Dniester River basin caused significant damage.

1947 (the end of December) – strong warming and intense rains led to the formation of a catastrophic flood in Transcarpathia. Floods have seriously damaged the population of villages and towns. More than 35 railway bridges were destroyed, protective dams in the cities Vilok, Hust, the railroad were eroded, fertile soils were washed away, winter crops were ruined. Mud-stream, landfalls and landslides were observed.

1957 (June, 12<sup>th</sup>-13<sup>th</sup>) – in the Carpathian region a catastrophic rainstorm caused the formation of a flood, which resulted in a huge material loss: the railroad was washed out, villages were flooded, farm buildings were demolished, agricultural crops were damaged and ruined on large areas.

1970 – a spring flood. A great rise in the water level and flooding of the territories were observed in

the Dnipro river basin, including inflowing streams – the Desna and the Pripyat; population and economy of Kiev, Chernigov, Zhytomyr, Rivne and Sumy regions experienced substantial losses.

1980 (July) – a catastrophic flood was formed by significant precipitation in the basin of the Transcarpathian rivers, as well as the Dniester, Prut, and Siret; the national economy and the population in these areas were inflicted huge losses.

1998 (November, 3<sup>rd</sup>-5<sup>th</sup>) – a catastrophic flood in Transcarpathia, which resulted in flooding more than 40 thousand buildings, about 2 thousand of which were completely destroyed. Waterproof dams, roads, bridges, railways were destroyed and damaged.

2001 (March, 4<sup>th</sup>-9<sup>th</sup>) – a catastrophic flood in Transcarpathian region. For three days, there were two norms of monthly precipitation; water levels on some rivers exceeded the 1.5-2 m flood level of 1998. The flood caused tremendous destruction, 9 people died.

2008 (July, 22<sup>nd</sup>-27<sup>th</sup>) – a catastrophic flood in six western regions of Ukraine, with 20 thousand dwellings, 2020 km of roads, 7 thousand hectares of agricultural lands flooded, hundreds of bridges were damaged, and about 30 people died.

Thus, according to the data of national scientists [5-7,10], and according to the results of international assessments CRED [1-4], for the territory of Ukraine, the greatest repetition of dangerous natural phenomena (51,9%) falls on floods of different origin. In particular, according to the results of the 2008 flood, according to the CRED rankings, Ukraine took the ninth place in the world.

R.A. Nezhikhovsky in the monograph [7] analyzed the distribution of water resources and floods with rare probability of relative height (from 1 to 5%) in the territory of the former USSR. If we consider the plain territory of Ukraine, then there were highlighted the above-mentioned catastrophic floods of 1931 and 1932; in particular, the flood in 1931 is classified as maximum water discharge with probability of  $P \approx 1\%$  and the flood in 1932 is classified as a year with probability of maximum water discharge  $P \approx 1-5\%$ .

**Materials and methods.** For the analysis of major floods, that have been observed in lowland rivers, the observational data of the State Hydrometeorological Service of Ukraine was used. Figures 2-9 show the chronological graphs of the maximum runoff of spring floods according to hydrological stations, which have the largest and in most cases continuous observation periods from their beginning until 2015 inclusive. To estimate the trends in the chronological series of the maximum runoff of rivers the methods of statistical analysis and spatial generalization have been used.

**Results.** While analyzing the presented diagrams, it should be noted that the floods of 1932 and 1970 can be classified as catastrophic according to the size of the territory it covered – so the flood of 1932 was observed in the basins of the Dnieper, the left bank of the Dniester, the Southern Bug and the Siverskyi Donets (Fig. 2-6), and in 1970 the flood was spotted basically throughout all the territory of the Dnieper (Fig. 2, 5), as well as on the rivers of the Azov Sea (Fig. 7).

In general, the most water-abundant over a long period of observation, both on total volume of the

spring runoff and on maximum water discharges, spring floods were formed in Ukraine in 1932, 1942, 1947, 1956, 1960, 1963, 1970, 1971, 1978, 1979, 1980, 1986, 1988, 1994 years, and the dry spring floods were in 1944, 1950, 1954, 1962, 1965, 1969, 1975, 1976 years [13-15]. On the other hand, in the Western Bug basin, the flood in 1970 was lower than normal and high floods occurred in 1952 and 1966 (Figure 8).

If we consider the upper Dniester, where the most water-abundant phase is the floods of warm period, but high spring floods are also possible, the most outstanding floods occurred here in the last 20 years – in 1998, 2000 and 2006 (Fig. 9).

In recent years (2007, 2008, 2009, 2014, 2015) snow stocks basically didn't accumulate in a large part of the extreme south of Ukraine, that led to the lack of spring floods on the rivers or even their absence (Fig.3-4, 6-7). However, on the background of dry years of the past decades the most water-abundant floods were marked in 1998, 2003, 2006, and 2010. In some gauges in 2010 and 2013, according to the data of UHMC [15], the relative height of the maximum water levels was marked during the flood on the Danube and the Upper Dnieper.

According to research of European scientists, including a group of researchers from the Technical University of Vienna under Prof. Guenter Bloeschl [16], trends in changes in the number and size of floods of different origin in Europe are not straightforward. As an example, chronological series of observations of annual runoff maxima on the Danube River in Vienna have been presented (Fig. 10).

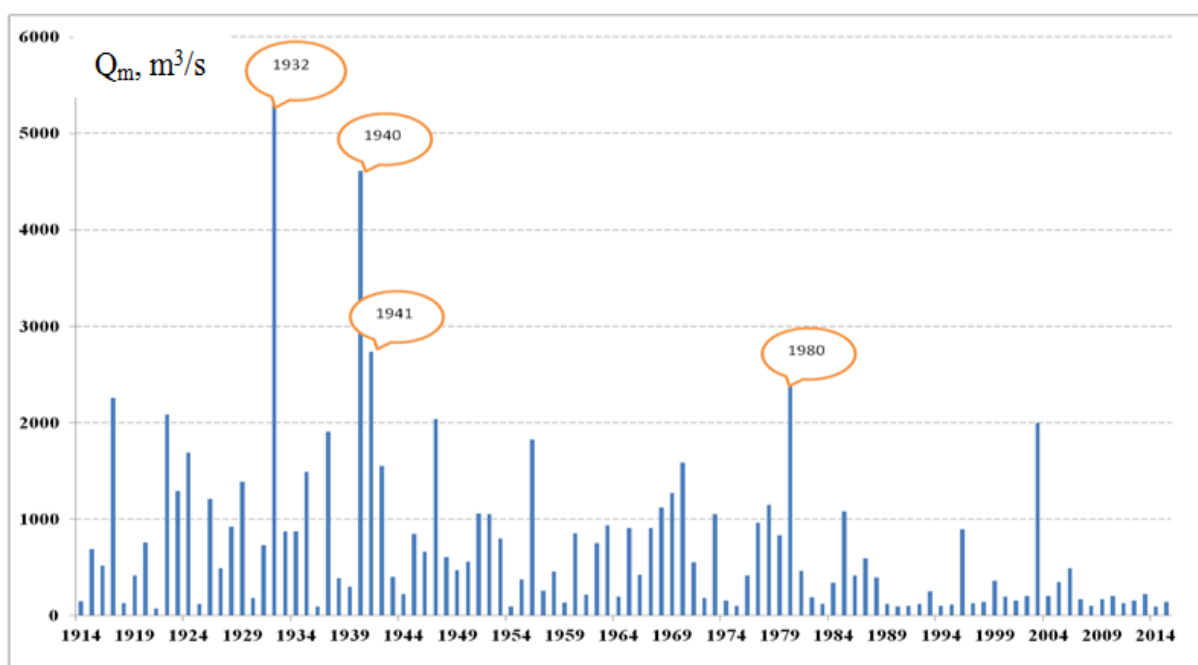


Fig. 2. Time series of spring flood water discharges at the river Desna in Chernigiv

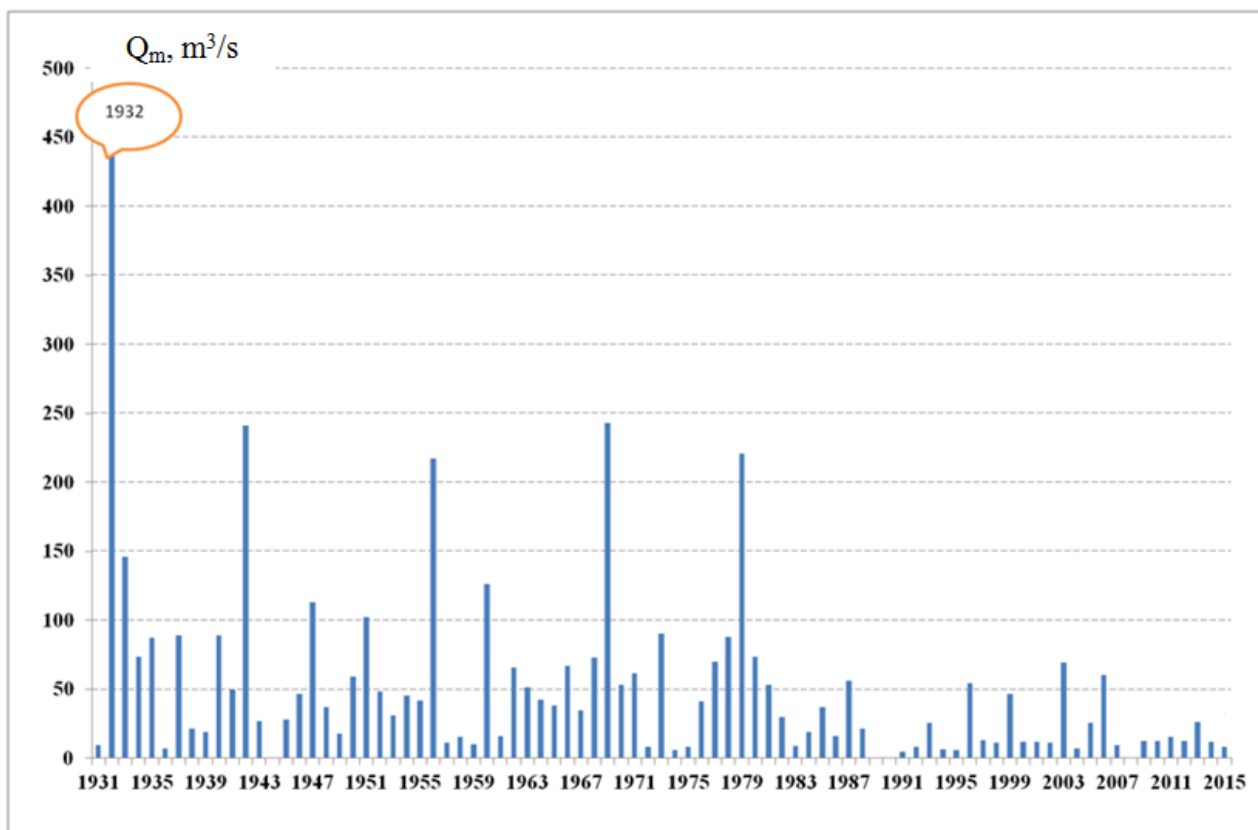


Fig. 3. Time series of spring flood water discharges at the river Southern Bug in urban settlement Oleksandrivka

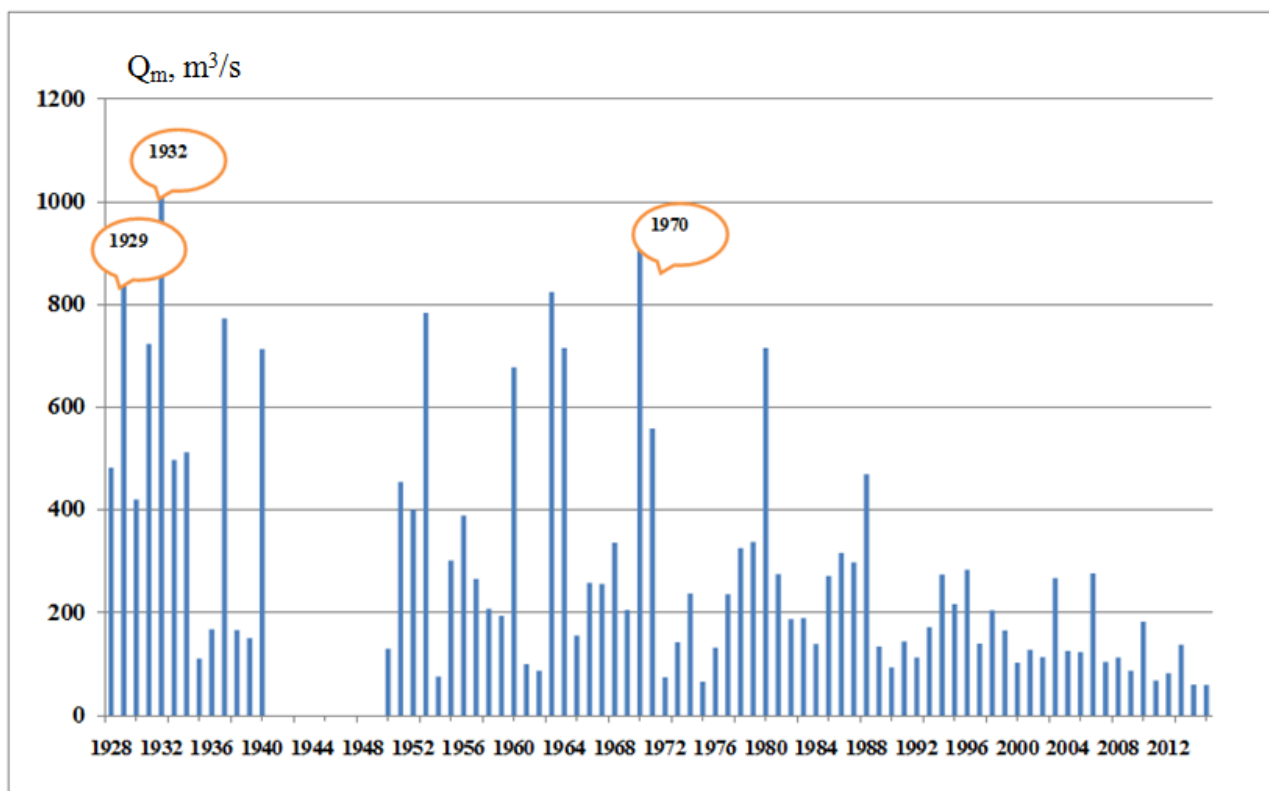


Fig. 4. Time series of spring flood water discharges at the river Smotrych in the village Tsybulivka

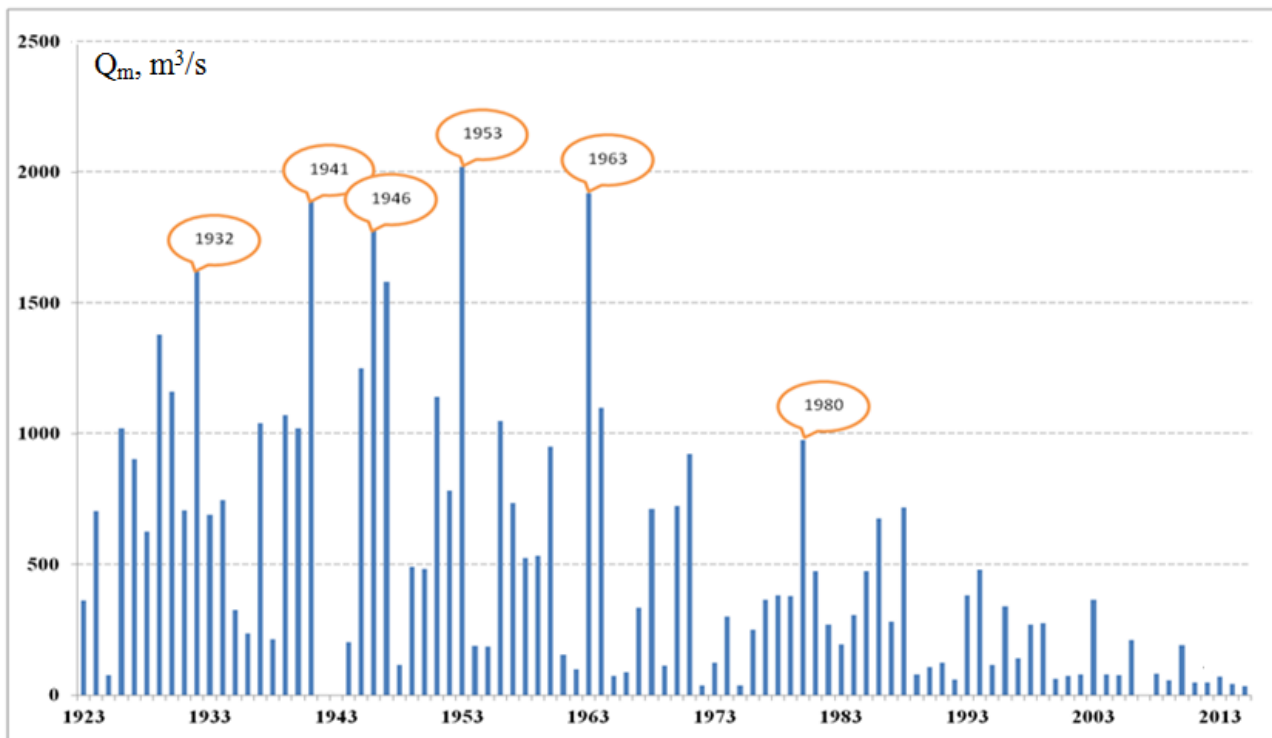


Fig. 5. Time series of spring flood water discharges at the river Psel in the village Zapsillia

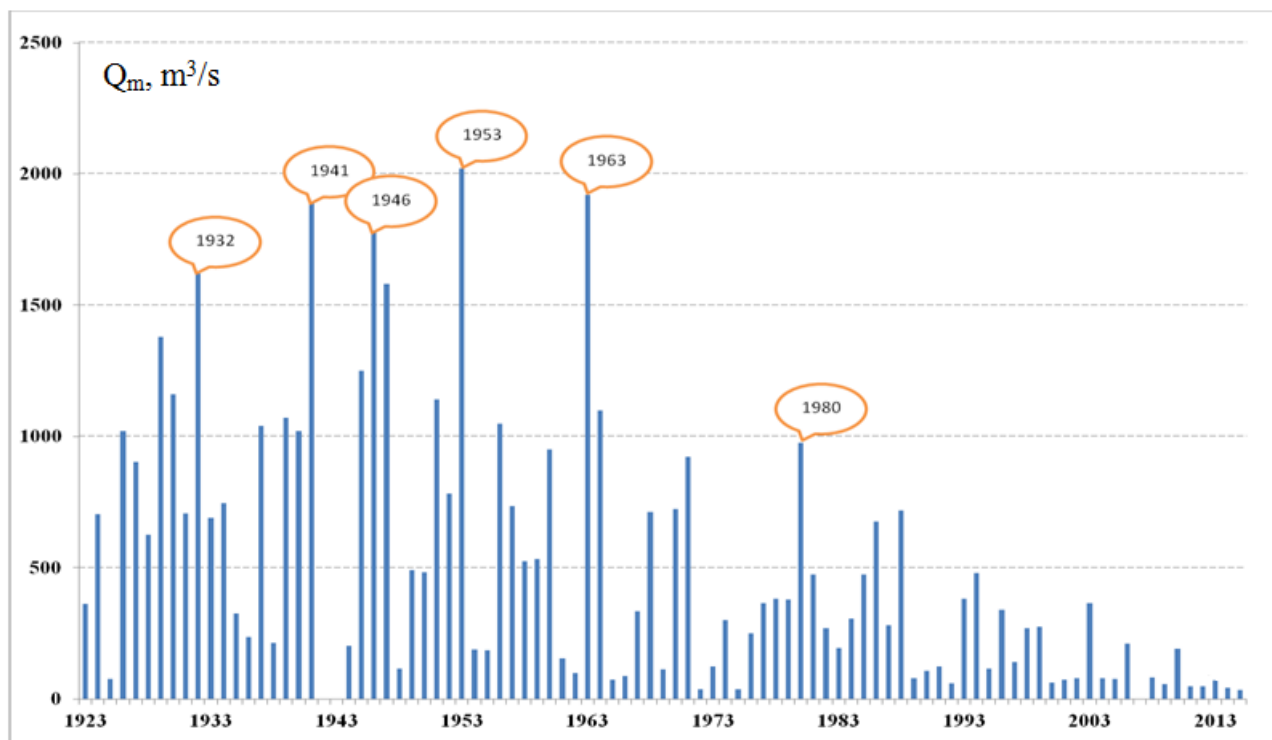


Fig. 6. Time series water discharges of spring flood at the river Siversky Donets - st. Zmiyiv

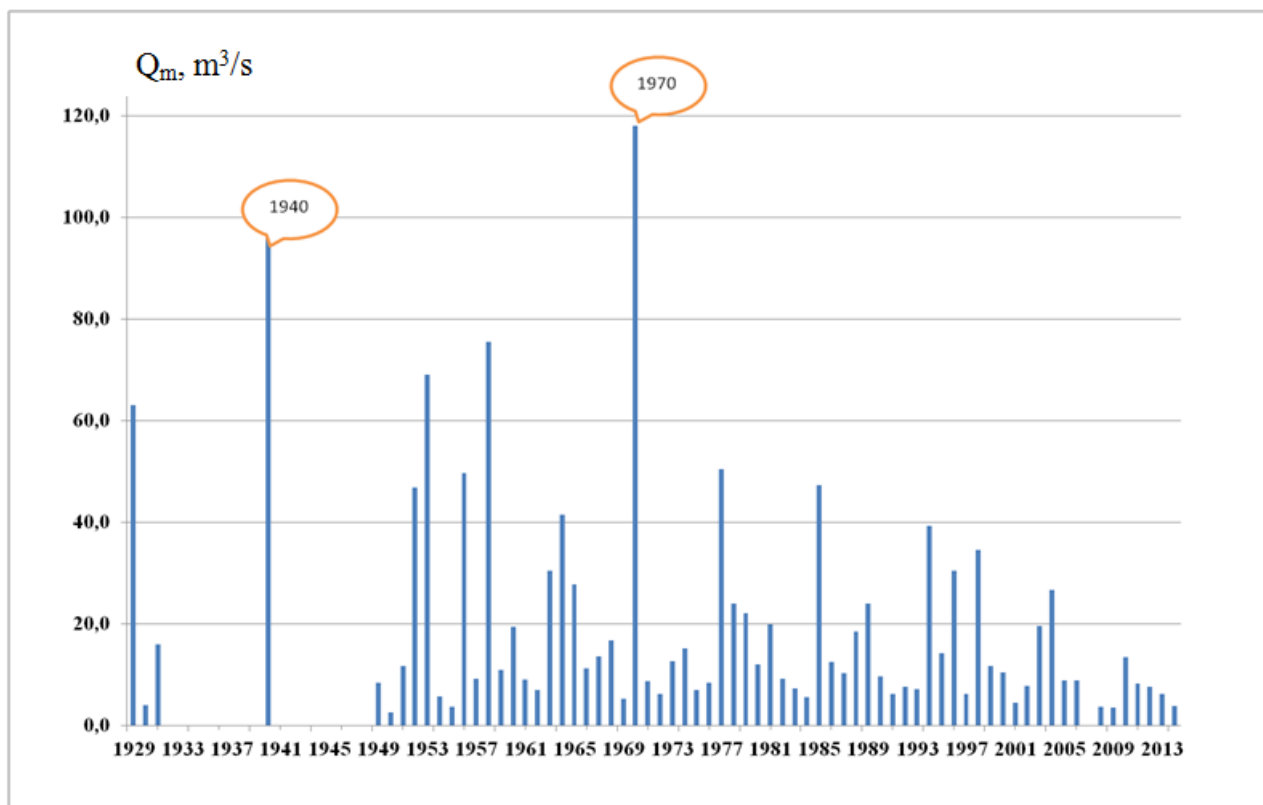


Fig. 7. Time series of spring flood water discharges at the river Krynka in the village Novoselivka

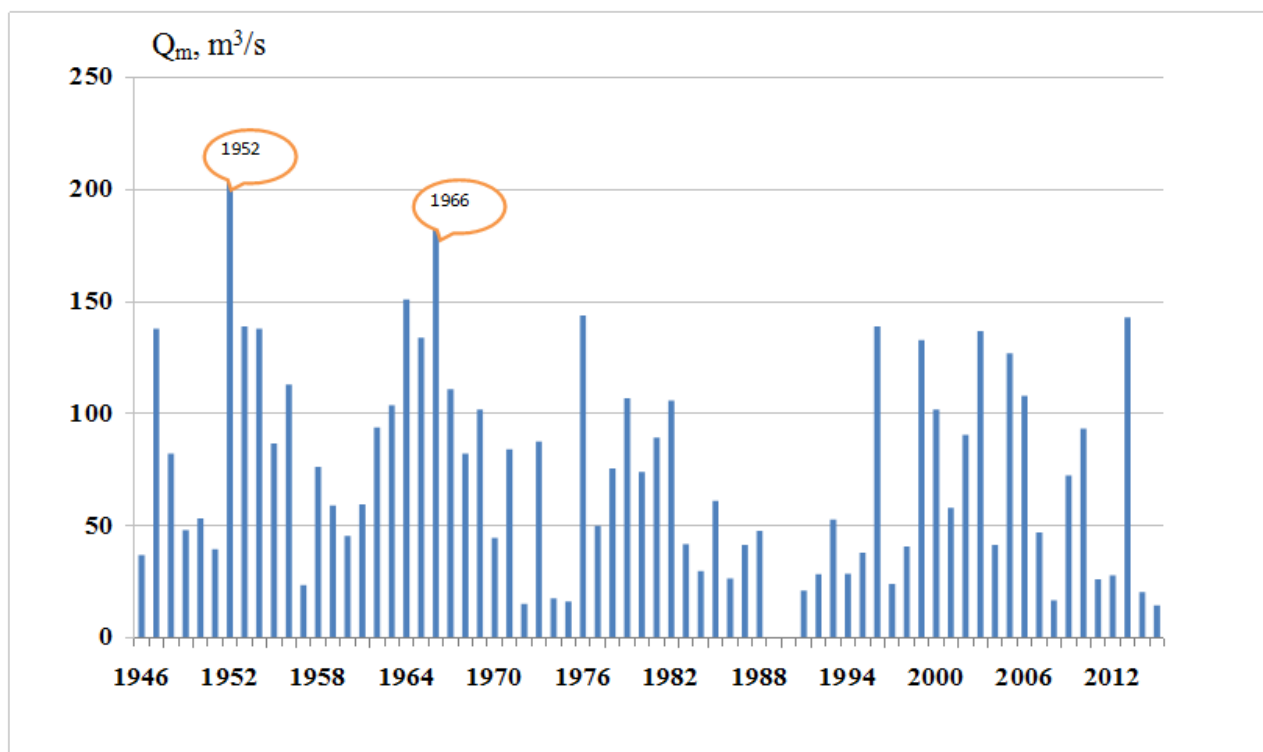


Fig. 8. Time series of spring flood water discharges at the river Western Bug in Kamianka-Buzka



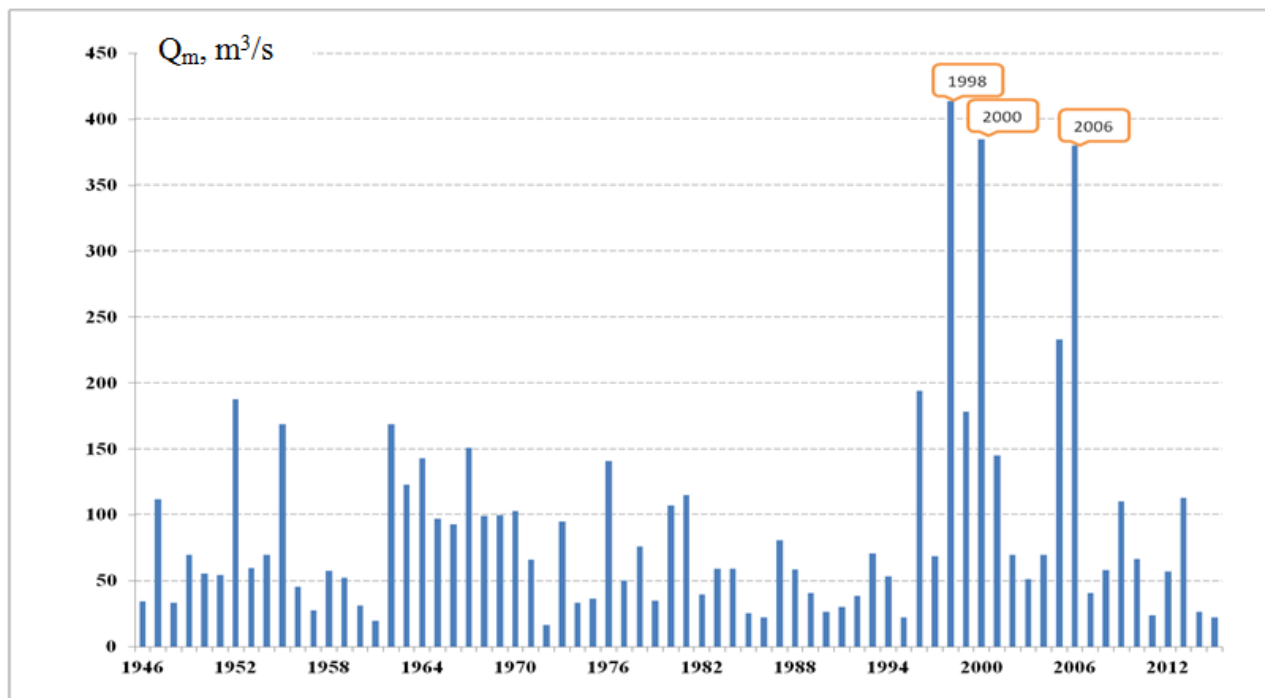


Fig. 9. Time series of spring flood water discharges at the river Dnister in Sambir

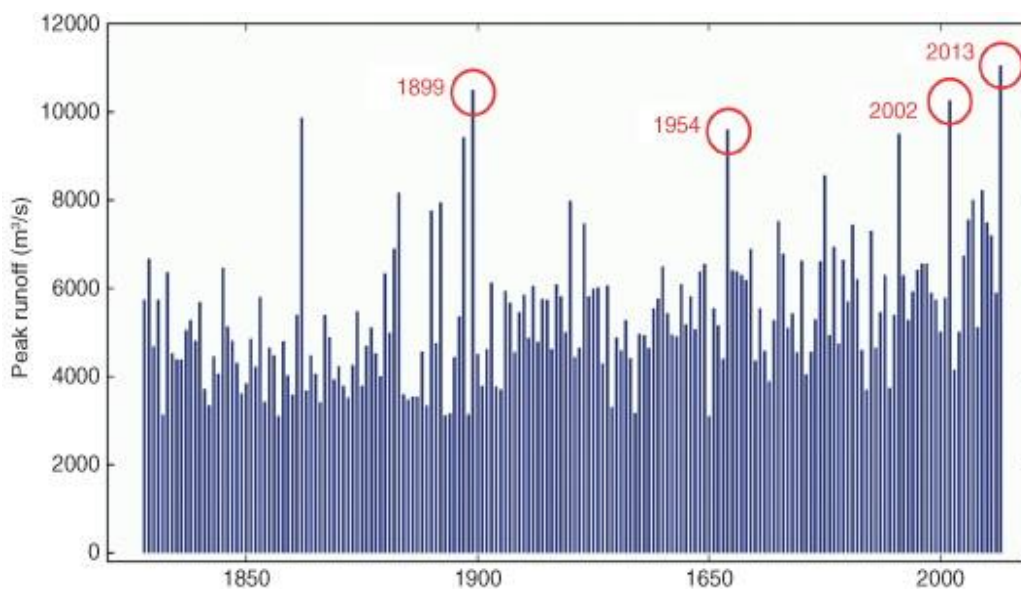


Fig. 10. The maximum annual runoff (the maximum discharge in each year) for the Danube in Vienna between 1828 and 2013 [16]

Considering the chronology of floods in Vienna, Bloeschl notes that there are years with a relatively small peak runoff (which does not actually lead to "flood"), and there are years with a very large runoff, which is definitely qualified as a flood. Four of the largest floods were marked by circles – these are floods that occurred in June 2013, August 2002, July 1954, and September 1899. All these floods were formed by heavy precipitation, and the maximum amount of precipitation in a few days exceeded 300 mm. Exceptions were precipitation in September 1899, when their number was much

higher (more than 500 mm), however, the maximum runoff was not very different from other cases. This is explained by the fact that in September the underlying surface was rather dry due to low summer precipitation. Much of the precipitation, therefore, went into infiltration, and thus actual runoff slightly decreased.

Similar chronological series of observations have been analyzed by numerous researchers for the rivers of Europe to understand whether there are any changes in the magnitude and frequency of floods during the last decades [17-21].

To verify the existence of the trend, linear regression has been used, and it has also been assessed whether the trend is statistically significant. In general, these studies for the past decade have demonstrated great attention to the chronology of floods on the rivers in the world, but the data suggests their large spatial heterogeneity. Naturally, this heterogeneity is due primarily to local processes that affect the scale of the flood. But there are also interesting large-scale trends that have been identified as a result of analysis [19]. In particular, on the Iberian Peninsula and in North-Eastern Europe there is a tendency of reduction of flood (due to earlier snow melt period) and in Western Europe there is a tendency of increase (due to increased precipitation). However, the authors of the study [19] note that the analysis results are invariably dependent on the period of observation of a series of floods, and it is not the same for all studied regions, hence the resulting trends require further correction. It should be considered that the territory of Ukraine, as well as European Russia, have not been included in the study, so the trends during the maximum runoff in these areas have not been analyzed.

In 2015-2016, Prof. G. Bloeschl and Dr. J. Hall initiated a new large-scale study in which 35 scientists from most European countries participated, including Ukraine, which was represented by L. Gorbachova, a representative of UkrHMI and one of the authors of this article – V. Ovcharuk. The task of the study was to collect and analyze data of maximal runoff at European Rivers in the period from 1960 to 2010. Information was collected on almost 5000 hydrological stations, including 261 stations in Ukraine. As a result of the analysis of the time series of annual maxima and the dates of their observation on the presence of particular trends, the areas of homogeneous trends have been identified (Fig. 11) [22].

The authors [22] have identified 4 regions with the same tendency of trends and peculiarities of the formation of maximum discharge: 1 – North-Eastern Europe: early snow melt; 2 – the North Sea region: late winter storms; 3 – Western Europe along the Atlantic coast: earlier periods of the onset of maximum soil humidity; 4 – parts of the Mediterranean coast: a stronger influence of the Atlantic in the winter.

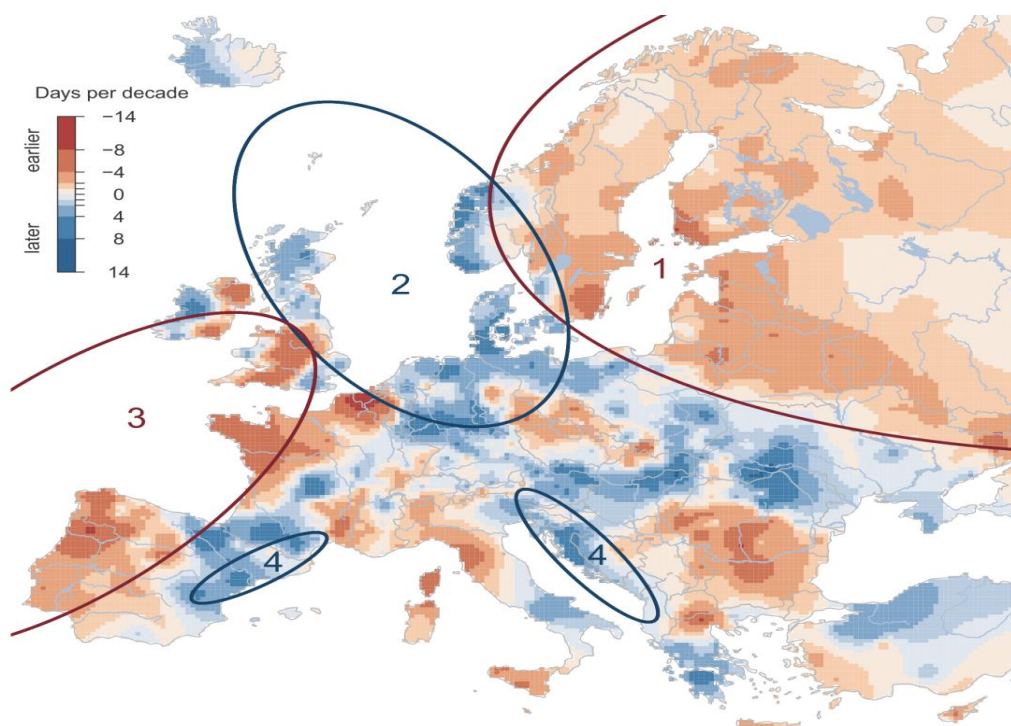


Fig. 11. The observed time trends of maximum river runoff in Europe (1960-2010) [22]

**Conclusions.** The analysis of historical data, literature sources and available time series of observations for the maximum runoff of rivers show that the greatest risk among natural hazards in Ukraine is floods of different origin.

In the period of regional and global climate change, the territory of Ukraine is not homogeneous with the trends of annual runoff maxima: on the left

bank of the Dnieper and in the Siverskyi Donets basin, there is a tendency towards earlier periods of snow melting and occurrence of spring floods, while in the rest of the territory, on the other hand, there is a tendency to increase the incidence of winter floods instead of spring floods.

Nevertheless, in the plain area of Ukraine annual maxima are still observed in the spring, and for

the territory of the Ukrainian Carpathians the maxima are indicative as a result of floods of the warm period of the year.

Potential danger that occurs during the floods

with rare probability of relative height is a reason for the continuous study of these natural phenomena and it necessitates the improvement of methods for their calculation in conditions of unstable climate.

### Література

1. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters Internationally Reported Losses 1990-2014 EMDAT [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.preventionweb.net/countries/ukr/data/>.
2. The OFDA/CRED – International Disaster Database Université catholique de Louvain Brussels [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.emdat.be>.
3. Making Development Sustainable: The Future Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:78299>.
4. Source Index for Risk Management 2017 (INFORM 2017) – Inter-Agency Standing Committee Task Team for Preparedness and Resilience and the European Commission [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.inform-index.org>
5. Гопченко, С.Д. Гідрологічні розрахунки: підручник / С.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
6. Соколов, А.А. Гидрография СССР / А.А. Соколов. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 355 с.
7. Нежиховский, Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды / Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 473 с.
8. Борисенков, Е.П., Экстремальные природные явления в русских летописях XI–XVII веков / Е.П. Борисенков, В.М. Пасецкий. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.
9. Flooding and sustainable development. – WMO Bulletin. – 2006. – Vol. 55(3). – 228 p.
10. Екстремальні гідрологічні явища: наводки і посухи на території гірських регіонів України: колективна монографія / за ред. С.Д. Гопченка та ін. – Одеса: ТЕС, 2018. – 325 с.
11. Природні катаклізми ХХ століття в Україні [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://day.kyiv.ua/uk/article/cuspilstvo/prirodni-kataklizmi-hh-stolitnya-v-ukrayini>.
12. Гопченко, С.Д. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся / С.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзанова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20). – С. 50-59.
13. Гопченко, С.Д. Зміни гідрометеорологічних характеристик весняного водопілля на рівнинних річках України / С.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзанова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 133-142.
14. Шакірзанова, Ж.Р. Просторові закономірності у розподілі шарів стоку весняного водопілля рівнинних річок України / Ж.Р. Шакірзанова // Географія та туризм. – 2014. – Вип. 31. – С. 170-178.
15. Гідрологічний режим річок України у 2010-2013 рр. та його прогнозування. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Jitomir/4.pdf>.
16. Blöschl, Günter Increasing river floods: fiction or reality? / Günter Blöschl, Ladislav Gaál, Julia Hall, Andrea Kiss, Jürgen Komma, Thomas Nester, Juraj Parajka, Rui A. P. Perdigão, Lenka Plavcová, Magdalena Rogger, José Luis Salinas, Alberto Viglione // WIREs Water. – 2015. – Vol. 2. – P. 329-344. <https://doi.org/10.1002/wat2.1079>.
17. Hall, J. Understanding flood regime changes in Europe: a state of the art assessment / J. Hall, B. Arheimer, M. Borga, R. Brázdil, P. Claps, A. Kiss, T.R. Kjeldsen, J. Kriaučiūnienė, Z.W. Kundzewicz, M. Lang // Hydrol Earth Syst Sci. – 2014. – Vol. 18. – P. 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.
18. Changes in Flood Risk in Europe: / ed. Kundzewicz Z.W. – Wallingford: IAHS Press, 2012. – 516 + xvi pp.
19. Blöschl, G. The June 2013 flood—analysis and implications for flood risk management / G. Blöschl, T. Nester, J. Komma, J. Parajka, R.A.P. Perdigão // Z Österreich Ingen-&Architekten. – 2013. – No 158. – P. 141-152.
20. Srđaj, M. The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation / M. Srđaj, A. Viglione, J. Parajka, G. Blöschl // J. Hydrol. Hydromech. – 2016. – Vol. 64. – P. 426–437.
21. Maskey, S. Flood risk in the changing climate / S. Maskey // Journal of Flood Risk Management. – 2018. – P. 109-110. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12458>.
22. Blöschl, G. Changing climate shifts timing of European floods / G. Blöschl et al // Science. – 2017/ – Vol. 357, Issue 6351 – P. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.

UDC 556.16

*Valeriya Anatolievna Ovcharuk,*

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor,  
Director of the Hydrometeorological Institute of Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str., 65016, Odessa, Ukraine,  
e-mail: [valeriya.ovcharuk@gmail.com](mailto:valeriya.ovcharuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1638-841X>;

*Oleg Miloslavovich Prokofiev,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Meteorology and Climatology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [leggg0707@gmail.com](mailto:leggg0707@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5669-0181>;

*Olena Ivanivna Todorova,*

PhD (Geography), Senior Lecturer,  
Department of Land Hydrology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [lenochka.todorova1989@gmail.com](mailto:lenochka.todorova1989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8937-7952>;

*Natalia Sergiyvna Kichuk,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Land Hydrology, Odessa State Environmental University,  
e-mail: [kichuknatali@ukr.net](mailto:kichuknatali@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8165-6743>

## THE STUDY OF THE PERIODICITY OF CATASTROPHIC SPRING FLOODS ON THE TERRITORY OF UKRAINE

**Introduction.** In the period of global and regional climate change in almost all the regions of our planet there is an increase in cases of extreme natural phenomena, which definitely include floods of various origin. Over the past decades, according to the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), in many countries of the world there has been a record high number of natural disasters which affected about 2.7 billion people, that is more than one third of the world's population.

**The purpose of article** is to analyze historical data and study the current state and trends in the frequency of catastrophic floods.

**Methods.** To estimate the trends in the chronological series of the maximum runoff of rivers the methods of statistical analysis and spatial generalization have been used.

**Results.** On the basis of literature sources and taking into account current data, frequency of flooding in the period from 900 to 2010 in the territory of Kyivan Rus and modern Ukraine has been estimated. Analyzing the results obtained, it can be noted that the largest number of floods was observed in the period from 1501 to 1600 years (11 cases), from 1601 to 1700 years (13 cases), and in the modern period from 1901 to 2000 (10 cases); 900-1000 and 1701-1800 years can be considered as the periods with the smallest number of cases. Since the beginning of the new millennium catastrophic and high floods have been observed in Europe almost every year. In order to estimate the repeatability of catastrophic floods at the rivers in Ukraine, the chronological series of the maximum runoff of spring water have been made up in accordance with the data of hydrological stations, which have the largest and preferably continuous periods of observations from their beginning until 2015 inclusive. The analysis has shown that in Ukraine the spring floods in 1932 and 1970 are classified as catastrophic. The analysis of trends in the chronological series of annual maxima in conditions of climate change showed their heterogeneity across the territory of Ukraine: on the left bank of the Dnieper and in the Siverskyi Donets basin there is a tendency towards earlier periods of snowmelt and the occurrence of the spring floods, and on the other territory, on the contrary, there is a tendency of increase in cases of winter floods instead of the spring high water.

**The scientific novelty** of the study is determined by the use of observational data up to 2015 inclusive, and its **practical significance** is determined by the opportunity to use the results when justifying hydrotechnical projects in order to minimize the consequences of catastrophic floods on rivers.

**Keywords:** flooding, rain and spring floods, maximum runoff, climate change

### References

1. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters Internationally Reported Losses 1990-2014 EMDAT. Available at: <http://www.preventionweb.net/countries/ukr/data/>.
2. The OFDA/CRED – International Disaster Database Université catholique de Louvain Brussels. Available at: <http://www.emdat.be>.

3. *Making Development Sustainable: The Future Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Available at: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:78299>.*
4. *Source Index for Risk Management 2017 (INFORM 2017) – Inter-Agency Standing Committee Task Team for Preparedness and Resilience and the European Commission. Available at: <http://www.inform-index.org>*
5. *Gopchenko, Ye.D., Loboda, N.S., Ovcharuk, V.A. (2014). Hidrologichni rozrakhunky: pidruchnyk [Hydrological calculations: a textbook]. Odesa, Ukraine: TES, 484.*
6. *Sokolov, A.A. (1964). Hidrografija SSSR [Hydrography of the USSR]. Leningrad, Russia: Gidrometeoizdat, 355.*
7. *Nezhilovskij, R.A. (1971). Ruslovaja set' bassejna i process formirovaniya stoka vody [Channel network of the basin and the process of formation of water flow]. Leningrad, Russia: Gidrometeoizdat, 473.*
8. *Borisenkov, E.P., Paseckij, V.M. (1983). Jekstremal'nye prirodnye javlenija v russkih letopisjah XI—XVII vekov [Extreme natural phenomena in the Russian chronicles of the XI-XVII centuries]. Leningrad, Russia: Gidrometeoizdat, 240.*
9. *Flooding and sustainable development (2006). WMO Bulletin, 5(3), 228.*
10. *Gopchenko, Ye.D. ed. (2018). Ekstremal'ni gidrologichni yavy'shha: pavodky i posuxy na terytoriyi girs'kyx regioniv Ukrayiny: kolektyvna monografiya [Extreme hydrological phenomena: floods and droughts in the mountain regions of Ukraine]. Odesa: TES, 325.*
11. *Natural cataclysms of the twentieth century in Ukraine. Available at: <https://day.kyiv.ua/uk/article/cuspilstvo/prirodni-kataklizmi-hh-stolittya-v-ukrayini>.*
12. *Gopchenko, Ye.D., Ovcharuk, V.A., Shakirzanova, Zh.R. (2010). Doslidzhennya vplyvu suchasnyx zmin klimatu na xarakterystyky maksymal'nogo stoku vesnyanogo vodopyllyya na richkax Polissya [Investigation of the influence of modern climate changes on the characteristics of the maximum runoff of spring water on the rivers of Polissya]. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 3(20), 50-59.*
13. *Gopchenko, Ye.D., Ovcharuk, V.A., Shakirzanova, Zh.R. (2012). Zminy gidrometeorologichnyx xarakterystyky vesnyanogo vodopyllyya na rivny'nnyx richkax Ukrayiny [Changes in hydrometeorological characteristics of spring flood on plain rivers of Ukraine]. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 10, 133-142.*
14. *Shakirzanova, Zh.R. (2014). Prostorovi zakonmirnosti u rozpodili shariv stoku vesnyanogo vodopyllyya rivny'nnyx richok Ukrayiny [Spatial patterns in the distribution of layers of spring runoff of plain rivers of Ukraine]. Geography and Tourism, 31, 170-178.*
15. *Hydrological regime of Ukrainian rivers in 2010-2013 and its forecasting. Available at: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Jitomir/4.pdf>.*
16. *Blöschl, Günter, Gaál, Ladislav, Hall, Julia, Kiss, Andrea, Komma, Jürgen, Nester, Thomas, Parajka, Juraj, Perdigão, Rui A.P., Plavcová, Lenka, Rogger, Magdalena, Salinas, José Luis, Viglione, Alberto (2015). Increasing river floods: fiction or reality?. WIREs Water, 2, 329-344. <https://doi.org/10.1002/wat2.1079>.*
17. *Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kriaučiūnienė, J., Kundzewicz, Z.W., Lang M. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state of the art assessment. Hydrol Earth Syst Sci, 18, 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.*
18. *Kundzewicz, Z.W. ed. (2012). Changes in Flood Risk in Europe. Wallingford: IAHS Press, 516 + xvi pp.*
19. *Blöschl, G., Nester, T., Komma, J., Parajka, J., Perdigão, R.A.P. (2013). The June 2013 flood—analysis and implications for flood risk management. Z Österreich Ingen-&Architekten, 158, 141-152.*
20. *Sraj, M., Viglione, A., Parajka, J., Blöschl, G. (2016). The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. J. Hydrol. Hydromech, 64, 426–437.*
21. *Maskey, S. (2018). Flood risk in the changing climate. Journal of Flood Risk Management, 109-110. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12458>.*
22. *Blöschl, G. et al (2017). Changing climate shifts timing of European floods. Science, 357(6351), 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.*

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



UDC 314.117.1(477.82)

*Tetiana Serhiivna Pavlovska,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Physical Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
9 Potapova Str., Lutsk, 43000, Ukraine,  
e-mail: [pavlovska2011@gmail.com](mailto:pavlovska2011@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4931-0803>,

*Taras Heorhiiiovych Pohrebskyi,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [taraspogrebskyi@gmail.com](mailto:taraspogrebskyi@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2290-134X>;

*Gennadii Serhiiovych Golub,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [golubgs111@gmail.com](mailto:golubgs111@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3548-6998>;

*Volodymyr Ivanovych Poruchynsky,*

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [poruchynsky@gmail.com](mailto:poruchynsky@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4605-5424>

## URBAN POPULATION OF VOLYN REGION: RESETTLEMENT AND DYNAMICS

*Т. С. Павловська, Т. Г. Погребський, Г. С. Голуб, В. І. Поручинський. МІСЬКЕ НАСЕЛЕННЯ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ: РОЗСЕЛЕННЯ ТА ДИНАМІКА.* У статті відображено результати аналізу розселення наявного міського населення у Волинській області станом на 01.01.2017 та динаміки його чисельності упродовж 01.01.2013–01.01.2017 рр. Для цього було охарактеризовано й закартографовано просторове поширення міських населених пунктів у межах області; з'ясовано рейтинг Волинської області серед інших регіонів України за часткою кількості міських населених пунктів і часткою міських жителів; проаналізовано кількість наявного населення та його динаміку за вказаний п'ятирічний період в містах обласного підпорядкування та в інших міських населених пунктах краю; проаналізовано кількість наявного міського населення та його динаміку за вказаний час в адміністративних районах області; закартографовано й охарактеризовано просторовий розподіл частки міських жителів Волинської області в розрізі адміністративних районів; простежено динаміку урбанізаційних процесів у Волинській області упродовж зазначеного часу. Дослідження здійснено із використанням статистичних даних Головного управління статистики у Волинській області та Державної служби статистики України. Застосовано такі методи досліджень, як порівняльно-географічний, математико-статистичний, геоінформаційного моделювання (з використанням MapInfo Professional 8.0 SCP). У процесі дослідження було відмічено стабілізацію урбанізаційних процесів у Волинській області в останні роки аналізованого періоду на рівні 52,3 %. При цьому в різних містах й адміністративних районах регіону простежується різновекторна динаміка кількості міських мешканців. З'ясовано, що на чисельність міського населення та рівень урбанізації Волинської області, крім природного відтворення населення і внутрішньорегіональної міграції, вагомий вплив мають міжрегіональні та міждержавні міграційні потоки. Стабільність показника урбанізації Волинської області на фоні скорочення чисельності міського населення деяких адміністративних районів та кількості мешканців більшості міст зумовлена зниженням числа сільських жителів регіону у зв'язку із природними й міграційними процесами.

**Ключові слова:** Волинська область, міграційний приріст, місто, міське населення, природний приріст, селище міського типу, урбанізація.

*Т. С. Павловская, Т. Г. Погребский, Г. С. Голуб, В. И. Поручинский. ГОРОДСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ: РАССЕЛЕНИЯ И ДИНАМИКА.* В статье отражены результаты анализа расселения имеющегося городского населения в Волынской области состоянием на 01.01.2017 и динамики его численности в течение 01.01.2013-01.01.2017 гг. Для этого было охарактеризовано и закартографировано пространственное распространение городских населенных пунктов в пределах области; выяснено рейтинг Волынской области среди других регионов Украины по доле количества городских населенных пунктов и доле городских жителей; проанализированы численность населения и его динамика за указанный пятилетний период в городах областного подчинения и в других городских населенных пунктах края; проанализированы количество имеющегося городского населения и его динамика за указанное время в административных районах области; закартографировано и охарактеризовано пространственное распределение доли городских жителей Волынской области в разрезе административных районов; прослежена динамика урбанизационных процессов в Волынской области на протяжении указанного времени. Исследование осуществлено с использованием статистических данных Главного управления статистики в Волынской области и Государственной службы статистики Украины. Применены такие методы исследования, как сравнительно-географический, математико-статистический, геоинформационного моделирования (с использованием MapInfo Professional 8.0 SCP). В процессе исследования было отмечено стабилизацию урбанизационных процессов в Волынской области в последние годы анализируемого периода на уровне 52,3%. При этом в разных городах и административных районах региона прослеживается разновекторная динамика количества городских жителей. Выяснено, что на численность городского населения и уровень урбанизации Волынской области, кроме естественного воспроизводства населения и внутререгиональной миграции, существенное влияние имеют межрегиональные и межгосударственные миграционные

*потоки. Стабильность показателя урбанизации Вольнской области на фоне сокращения численности городского населения некоторых административных районов и количества жителей большинства городов обусловлена снижением числа сельских жителей региона в связи с природными и миграционными процессами.*

*Ключевые слова: Вольнская область, миграционный прирост, город, городское население, естественный прирост, поселок городского типа, урбанизация.*

**Introduction.** Currently, the main form of people's resettlement is urban settlements. These social and spatial entities are the opportunity for the implementation of various types of activities and interests of the population, the expansion and intensification of interpersonal and group contacts [5; 14]. Along with the increase in the number of urban population, standard of living and the level of comfort are increasing; the modernization of the urbosphere (global urban system) becomes more dynamic, awareness of equal rights in society, the equal importance of respect for human rights, cooperation, and the common use of the environment become more dynamic. In addition to positive changes, urbanization is accompanied by tension in terms of basic natural resources use, problems in moral and ethical values, inconsistency in the life comfort demands with the rates of development of housing and communal services and the planning structure of cities, etc. Therefore, the study of the spatial and temporal evolution of the urban settlement systems is an important task on the regional, national and global levels.

**Analysis of recent researches and publications.** Urban settlements are the complex forms of resettlement and housekeeping management, consequently, the study of urbanization processes deals with the integration of different sciences.

The main features and current trends in urban processes are highlighted in works by North American and Western European urban geographers (urbanists). Paul Knox, Stephen Pinch, Linda McCarthy [26] explored the role of cities and urbanization in the post-industrial society thoroughly. Their works offer a consistent, comprehensive introduction to the urban geography, and highlight the historical and process-oriented approach in terms of North American focus. The above-mentioned approach provides a global context and comparative international perspective and illustrates all changes in employment in the European and North American cities, where the level of urbanization is one of the highest in the world. Benjamin Ofori-Amoah [20], in his works, examines a wide range of issues on the most common urban trends that geographers have drawn attention to while studying large cities. Michael J. Shapiro [25] explores the scientific theme that focuses on the relationship between city styles, especially when they express the micro-politics of urban life in various urban settlements, shifting the territorial focus of political research from the national to the global network of cities. Urban sociol-

ogists Tim May and Beth Perry [24] have made a valuable contribution to an increasingly interdisciplinary study of complex urban problems. Meanwhile, they support concern regarding social disorders and fragmentation, conflicts, tension and cultural diversity of cities. They considered that urban sociology has once lost its leading role in urban research, and therefore it is important to raise the question of the future of geography and urban sociology.

Geographical, urban, economic, social, demographic, historical aspects of the development of urban socio-territorial formations, peculiarities of urbanization processes in Ukraine were studied by the following Ukrainian scientists: A. Buryachenko, O. Gladkyi, P. Gnativ, O. Gonchar, M. Grygorovych, I. Gukalova, O. Denysenko, A. Dotsenko, O. Dronova, T. Zastavetsky, F. Zastavnyi, V. Zynych, N. Ilyashenko, Y. Kachan, G. Kovalenko, G. Komarnytska, V. Konstantynova, L. Koretsky, D. Kotenok, A. Koshil, B. Kubiyovych, D. Kuzmenko, V. Kucheravy, M. Melnyk, M. Mizhega, E. Mykhailova, S. Mokhnachuk, K. Nemets, L. Nemets, Ya. Oliynyk, N. Omelchenko, G. Onyshchuk, M. Palamarchuk, V. Peresiekin, Yu. Pitiurenko, B. Posatsky, I. Sali, K. Segida, A. Stepanenko, M. Tymchuk, O. G. Topchiev, A. Shabliy, L. Shevchuk, J. Shypulin, S. Shchegliuk, M. Fashchevsky, R. Yaremchuk and others [1; 2; 4-6; 8; 10; 14; 17; 22; 23].

The analysis of the main demographic trends in the Ukrainian urban environment was reflected in the works of A. Buryachenko, I. Gudzelyak, A. Denysenko, N. Dnistrianska, M. Duran, K. Mezentsev, I. Mostova, Yu. Polohovska, I. Prybytkova, V. Sklyar, R. Chorny, V. Shchabelska, L. Fedoryshyna and others [1; 4; 6; 14; 17]. Also, the review of the urbanization processes in Ukraine during 1989-2013 regarding demographic indicators and regional economic trends is reflected in World Bank reports [18].

The issues of the urbanization processes development and urban population resettlement are relevant for Volyn region, so many scholars keep this question under review. Thus, V. Poruchynsky and M. Vlah revealed the historical and geographical analysis of the settlement system in Volyn region, the role of cities and their functions in the overall social and economic development of the region [3; 13]. Historical analysis of the urban population formation and the evaluation of modern urbanization processes in Volyn region are highlighted in the works of G. Holub and Ya. Oliynyk [12]. Y. Mol-

chak, I. Androschuk, I. Myskovets [11] analyzed the level of urbanization in Volyn region. It was made from the perspective of administrative districts, taking into account the evolution in time. The location of the center of gravity of the urban population, the identification of trends in shifting the above-mentioned center regarding urban population during 1979-2001, and the substantiation of the importance of Lutsk in the regional settlement system are disclosed by V. Lazhnik and S. Pugach [9]. O. Pryshchepa [15] devoted his monograph to the study of the social and national structure of the urban population in the Volyn province, the pace of urbanization processes in the above-mentioned territory in the second half of the 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> centuries. V. Kychtyuk [7] analyzed the data on the cities and urban-type settlement of Volyn region, the number of their residents at the beginning of the 20<sup>th</sup> century.

Despite the considerable number of works and researches on the above-mentioned topic, the problems of the geospatial organization of the urban population, the consequences of the trends of urbanization processes, the pace of transformation of the way and conditions of life in the urban environment require further research. It is caused by the fact that the indicators of urbanization are rather dynamic and characterized by high dependence on socio-political phenomena of the local, regional and global range. Despite the fact that there is no strong industrial development, Volyn region is interesting for the study of urbanization processes, because it has a border position and currently is the edge of migration activity strengthening. Regarding the above-mentioned scientific papers on urban settlements and the urban population of Volyn region, only some of them reveal the indicators that are at the center of our research. In addition, the most recent data, analyzed in these publications, relate to the time periods of the last three censuses of the population (1979, 1989, 2001), beginning of 2010 and early 2014. Therefore, our research, which is based on the data of 01.01.2013-01.01.2017, is considered a logical step in the study of modern urbanization processes in Volyn region in order to find out the causes of trends in the dynamics of the urban population and justify the prospects for the development of demographic, social and economic situation of the region.

**The aim and objectives of the article.** The aim of the article is to analyze the distribution of the existing urban population in Volyn region as of 01.01.2017 and the dynamics of its number during the period of 01.01.2013-01.01.2017. In order to achieve it, the following objectives were set out: 1) to study the history of urbanization processes research in Ukraine and in Volyn region; 2) to characterize and map the spatial distribution of urban set-

tlements in Volyn region; 3) to find out the rating of Volyn region among other regions of Ukraine by the share of urban settlements number and the proportion of urban residents; 4) to analyze the amount of the population and its dynamics in the cities of regional subordination and in other urban settlements of the region; 5) to assess the size of the existing urban population and its dynamics at a specified time in the administrative districts of the region; 6) to map and review the spatial distribution of the urban residents share of Volyn region in the context of administrative districts; 7) to trace the dynamics of urbanization processes in Volyn region during the specified time and substantiate the trends revealed.

**Materials and methods of research.** The research is based on the data of the Main Department of Statistics in Volyn region and the State Statistics Service of Ukraine. The following research methods are used: comparative-geographical, mathematical-statistical, method of geoinformation modeling (using MapInfo Professional 8.0 SCP).

**Presentation of the main material and the substantiation of the obtained research results.** As of 01.01.2017 in Volyn region there are 33 urban settlements: 11 cities (4 cities of regional subordination: Lutsk, Kovel, Novovolynsk, Volodymyr-Volynskyi) and 22 urban-type settlements. Cherkasy, Transcarpathian, Mykolayiv, Rivne and Chernivtsi regions have fewer urban settlements than Volyn region.

In Volyn region, the largest number of urban settlements in the Horokhiv district (2 cities - Horokhiv and Berestechko and 2 urban-type settlements - Senkevychivka and Marianivka). In addition to Horokhiv, two cities are also located in Volodymyr-Volynskyi district (Volodymyr-Volynskyi and Ustylug). Liubeshiv, Stara Vyzhivka, Shatsk and Lokachi districts have less number of urban settlements - only one urban-type settlement is represented here.

At the beginning of 2017, there were 544.6 thousand city residents in Volyn region. Almost 70% of urban residents of the region are concentrated in the cities of regional subordination (217 thousand in Lutsk, 69.3 thousand in Kovel, 52.8 thousand in Novovolynsk, 39.1 thousand in Volodymyr-Volynskyi). Among other cities in the region, the largest number of inhabitants is in Kivertsi (14.2 thousand), Rozhyshche (13.0 thousand), Kamin-Kashyrskyi (12.5 thousand), and the smallest one is in Berestechko (1,7 thousand). The largest number of residents of urban-type settlements are situated in Manevychi (10,8 thousand) and Ratne (10,0 thousand), but the smaller - Senkevychivka (1,2 thousand). Among the administrative districts, the largest number of urban residents has Kivertsi (23.8 thousand), Rozhyshche and Horokhiv (almost 15.0 thou-

sand) districts, and the smallest - Lokachi (3.9 thousand) and Volodymyr-Volynskyi (2, 2 thousand) districts (Fig. 1).

The share of urban population in the total population is considered to be the dominant official indicator of the level of urbanization. As of 01.01.2017, the share of urban population in Volyn region is 52.3%, in Ukraine - 69.2%. According to this indicator, Volyn region occupies the 18<sup>th</sup> place among other Ukrainian regions. In Volyn region, the least urbanization level is typical for Volodymyr-Volynskyi (8.7%) and Lutsk (9.6%) districts (Fig. 2), because within their boundaries there are cities of regional subordination, which are the centers of human resources attraction. The highest urbanization rate is typical for Rozhyshe (38.2%), Kivertsi (37.3%), Lyuboml (34.3%), Turiisk (33.7%), and Shatsk (31.6%) districts. The attractiveness of urban settlements in these districts is primarily due to the increase in the supply of jobs in industrial, agro-industrial, agricultural, transport, and trade enterprises, compared to other Polissya districts. At the same time, rural residents who decide to move to urban settlements in order to find better jobs and a higher level of living choose the cities and villages of the above-mentioned districts, because they have advantages in cost of housing or its rent in compari-

son with the largest industrial centers of the region. The significant concentration of population in Shatsk, not in the villages of Shatsk district, is associated with a small number of jobs for agricultural activities due to the high percentage of reserves, lakes, and forests of the region.

Regarding the dynamics of the urbanization level in the region, from the beginning of 2015 and before January 1, 2017, this figure remained unchanged at 52.3%, while at the beginning of 2014 it was 52.2%, and in 2013 - 52.1%.

As for the dynamics of the existing urban population of Volyn region, then at the beginning of the five-year period under study (01.01.2013-01.01.2017), its gradual growth was observed. Recently, it has stopped (the urban population at the beginning of 2017 is 1 thousand people less than on January 1, 2016).

Fluctuations in the number of urban residents in the administrative districts of the region during the specified time are barely visible. The most noticeable increase in the number of urban residents can be traced in Kamin-Kashyrskyi, Lutsk, Liuboml, Manevychi, Ratne districts. As of the beginning of 2017, in all of these areas, except Liuboml, urban population is characterized by a positive natural increase. The increase in the number of residents of

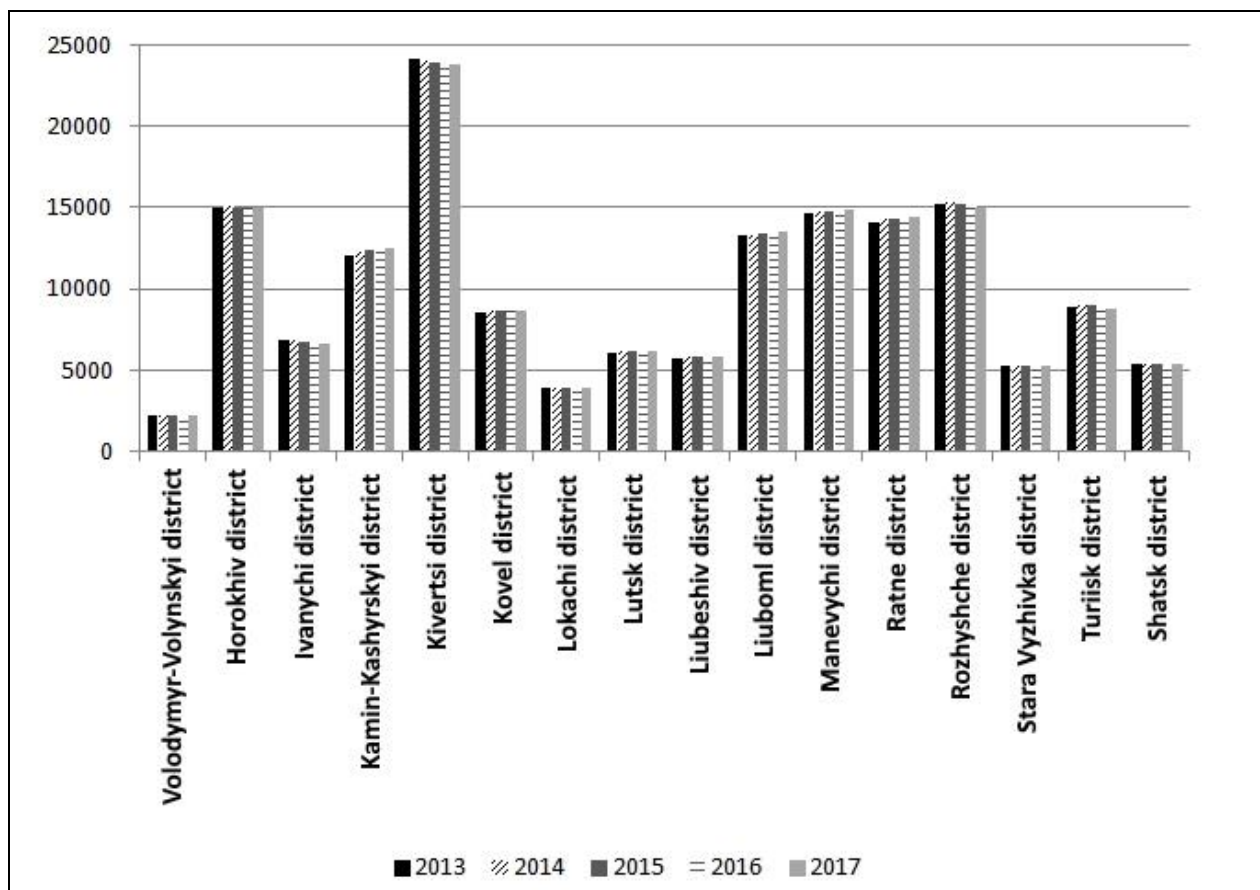


Fig. 1. Dynamics of the urban population number in administrative districts of Volyn region (according to [19])



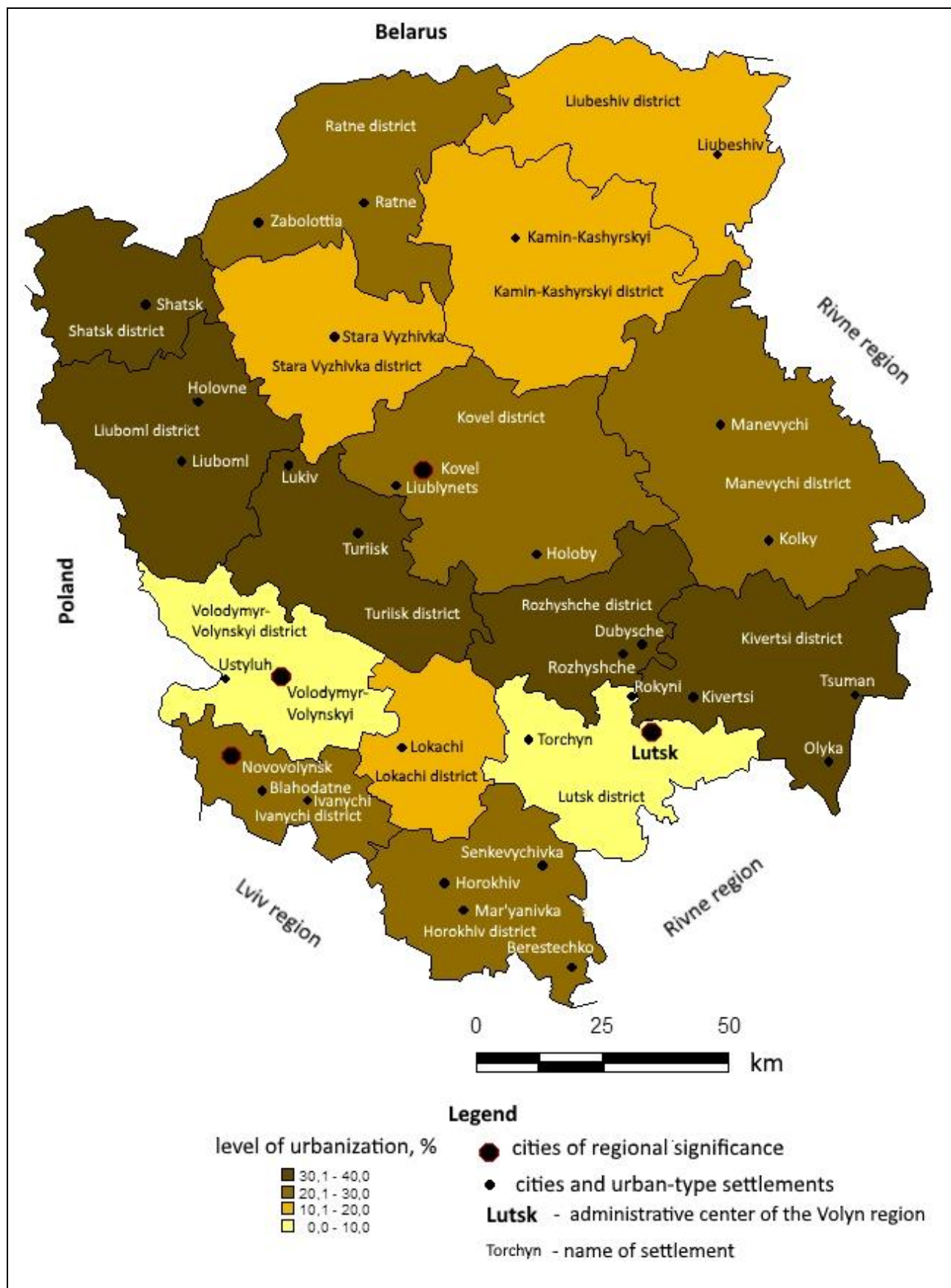


Fig. 2. Spatial differentiation of the urbanization level in Volyn region as of 01.01.2017 (drawn up by Pavlovska T. according to [16])



urban settlements in these areas is also marked by migration processes, especially in Liuboml district, where the indicators of migration increase offset the natural reduction of urban population. The gradual decrease of urban population occurs in Ivanychi, Kivertsi, Rozhyshche districts (see Fig. 2). In Kivertsi region, the positive values of the natural increase of urban population are inferior to the magnitude of migration outflow, and in Ivanychi and Rozhyshche districts, in addition to migration processes, the negative values of natural growth are significantly affected by the reduction of the number of urban residents.

As for the cities of regional subordination, during the first four years of the studied period, the population of Lutsk and Volodymyr-Volynskiy slowly, but grew, and from 2016 began to decrease (Fig. 3). In Novovolynsk, the decline in the number of inhabitants has been traced since 2014. The dynamics of the number of residents in Kovel during January 1, 2015 - January 1, 2017 has an oscillatory nature of changes. The population decline in these settlements is caused by the migration outflow (at the

beginning of 2017, the migration balance in all these cities is negative, the largest migration outflow of the population can be traced in Lutsk and Novovolynsk). Regarding the natural movement of a population in recent years, only Lutsk and Kovel have a positive natural increase.

As for other cities in Volyn region, the gradual increase in the population during the specified time is traced in Kamin-Kashyrskiy (4%) and Liuboml (by 2.2%), and the decrease - in Kivertsi (by 2.6 %) and Rozhyshche (by 2.2%). In other cities of district subordination, population changes are volatile without clearly expressed trends. The increase in the number of residents in Kamin-Kashyrskiy is explained by positive indicators of natural and mechanical movements of the population, and in Liuboml - the prevalence of positive values of migration increase over negative indicators of natural population growth (as of the beginning of 2017). Reducing population in Kivertsi and Rozhyshche is due to a significant migration outflow, as well as negative values of natural growth, in particular in 2016.

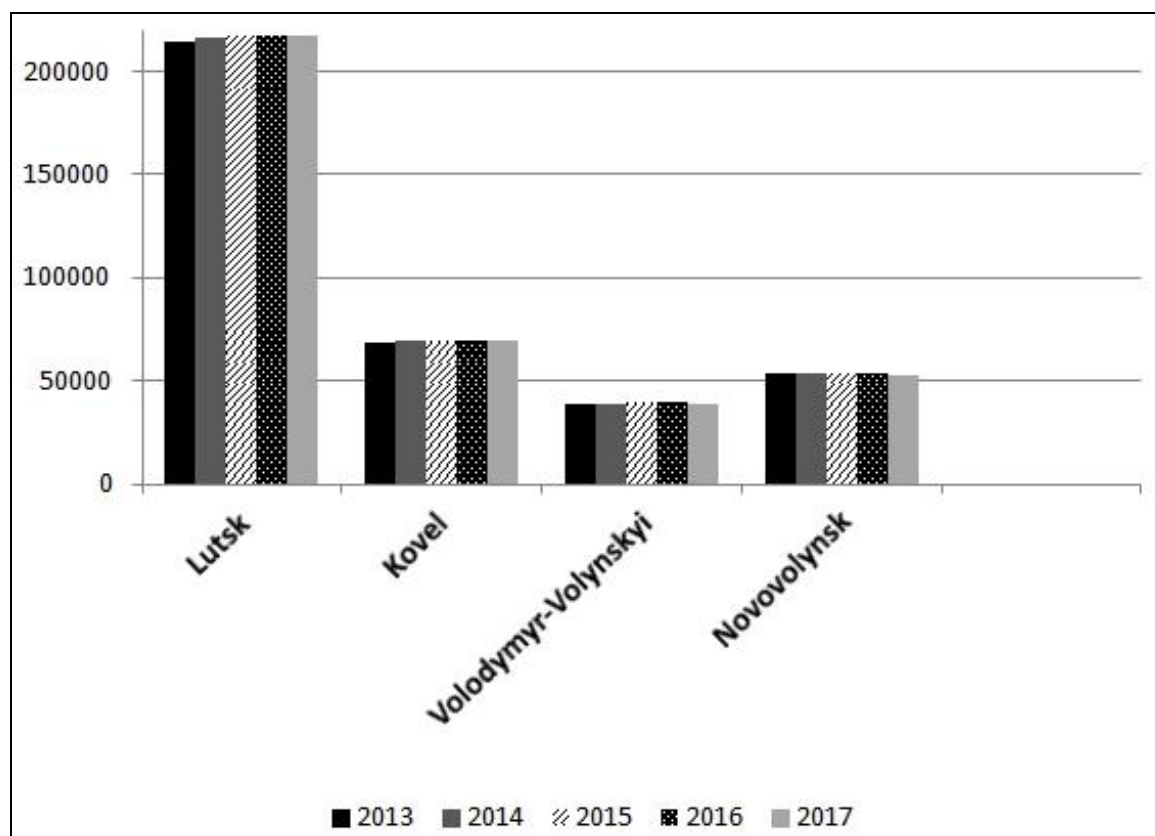


Fig. 3. Dynamics of the percentage of population in Volyn cities of regional subordination (according to [19])

**Conclusions.** In Volyn region, there are 33 urban settlements, that is 2.5% of all urban settlements in Ukraine. In the region there are 544.6 thousand urban residents, which make up 1.8% of all urban residents of the state. The main part of the urban

population of the region (70%) is concentrated in the cities of regional subordination (Lutsk, Kovel, Novovolynsk, Volodymyr-Volynskiy). More than 10 thousand people live in Kivertsi, Rozhyshche, Kamin-Kashyrskiy, Liuboml, and in the urban-type

settlements Manevychi and Ratne. The level of urbanization in the region is much lower (52.3%) than its republican value (69.2%). The highest urbanization rate is typical for Rozhyshe (38.2%), Kivertsi (37.3%), Liuboml (34.3%), Turiisk (33.7%), and Shatsk (31.6%) districts. Higher proportion of urban residents, compared to other Polissya districts, associated with the presence here of the three cities and seven towns, which attract a large number of visiting places of employment in industrial enterprises, transport and services, more developed infrastructure and, consequently, higher comfortable living. There are seven urban-type settlements that attract less people to stay there because of low level of economic and social development. These are Ratne, Liubeshiv, Stara Vyzhva, and Manevychi. The tendency of population to move to cities and towns is caused by reluctance of young people to work in rural areas, where they see few job prospects and personal development in connection with the crisis of social and economic nature that are inherent in most rural settlements not only in the region, but in whole Ukraine.

The low level of urbanization of Volodymyr-Volynskiy, Lutsk and Kovel districts is due to the presence of cities of regional subordination, which are centers of attraction of human resources. In addition, the relatively low urbanization of forest-steppe districts of Volyn region is conditioned by a significant number of villages and residents in them due to the availability of opportunities for the effective application of agricultural labor through the proliferation of fertile soils.

During 01.01.2013-01.01.2017 there was a gradual increase in the number of urban residents during the first four years in Volyn region. At the beginning of 2017, this trend was reversed: the number of local people in the region became 1 thousand less compared to the beginning of 2016. Taking into consideration administrative regions, the most pronounced increase in urban population was seen in Kamin-Kashyrskiy, Lutsk, Liuboml, Manevychi, Ratne districts. At the beginning of 2017, in all of these areas, except Liuboml, the urban population is characterized by a positive natural increase. The increase in the number of residents of urban settlements in the above-mentioned areas is also marked by migration processes, especially in Liuboml district, where the indicators of migration growth in 2016 offset the natural reduction of urban population. Gradual decrease of urban population occurs in Ivanychi, Kivertsi and Rozhyshe districts. In Ki-

vertsi district there are positive natural growth of urban population (as of early 2017), which inferior values of migration outflow, but in Ivanychi and Rozhyshe districts, one more reason of the reduction of urban residents number is negative value of natural growth.

In cities of regional subordination (except for Kovel) since 2016 there was a tendency to decrease the number of residents. The main reason for this is the migration outflow, and in Volodymyr-Volynskiy and Novovolynsk, there is also a natural decrease in the population (at the beginning of 2017, the natural growth rates in these cities were, -2.3 ‰ and -3 ‰, respectively). As for the other cities of Volyn region, the gradual increase in population during the studied time interval traced in Kamin-Kashyrskiy (by natural and migration processes), and in Liuboml (due to the predominance of positive values of negative migration growth indicators of natural population growth, marked by the beginning of 2017). The decrease in the urban population is observed in Kivertsi and Rozhyshe, which is primarily connected with the significant migration outflows, as well as negative values of natural growth, in particular in 2016.

Regarding the level of urbanization in the region, from the beginning of 2015 and before January 1, 2017, this figure remained unchanged, that is 52,3%, while at the beginning of 2014 it was 52,2%, and in 2013 - 52,1%. Thus, the percentage of urbanization in Volyn region has stabilized. Currently, the number of urban population and the urbanization of Volyn region, in addition to natural reproduction of the population and intra-regional migration, have a significant impact on interregional and interstate migration flows. The stability of the urbanization index of Volyn region against the backdrop of reducing the urban population of some administrative districts and the number of inhabitants of most cities is due to a decrease in the number of rural residents of the region due to natural and migration processes.

Since urbanization reflects contemporary social and economic trends in the development of society, the issue of urban population settlements, its dynamics, and the spread of urban lifestyles remains among the most relevant research. Moreover, the same assessment and forecasting of the course of urbanization processes in Volyn region and other regions of Ukraine can become an important task on the way to increase the effectiveness of spatial planning, especially in the context of territorial and administrative reform.

#### References

1. Буряченко А. Є. Урбанізація в контексті фінансового, демографічного та соціального розвитку / А. Є. Буряченко // *Вчені записки. Збірник наукових праць*. – К.: KHEU, 2013. – Вип. 15. – С. 84–95.

2. Венгрин Д. В. Типізація регіональних урбанізаційних процесів в Україні / Д. В. Венгрин, К. Ю. Сегіда // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, 2017. – Вип. 47. – С. 71–77.
3. Влах М. Р. Історико-географічні передумови формування системи розселення Волинської області / М. Р. Влах, В. І. Поручинський // Історія української географії. – Львів: [б. в.], 2007. – С. 32–39.
4. Галямар В. О. Урбанізація: сутність та вплив на економічне зростання / В. О. Галямар // Вісник ЖДТУ, 2017. – Вип. 4 (82). – С. 72–76.
5. Дронова О. Л. Геоурбаністика: навч. посіб. / О. Л. Дронова. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2014. – 419 с.
6. Заставецький Т. Б. Система міських поселень агропромислового регіону в умовах трансформації суспільства: монографія / Т. Б. Заставецький. – Тернопіль, 2005. – 180 с.
7. Кихтюк В. Основні типи та кількість поселень на Волині / В. Кихтюк // Острозький краєзнавчий збірник. – 2012. – Вип. 5. – С. 216–225.
8. Котенок Д. М. Економічна оцінка урбанізаційних процесів в Україні та формування економічного потенціалу міста / Д. М. Котенок // Інвестиції: практика та досвід. – 2013. – № 7. – С. 40–45.
9. Лажник В. Просторовий аналіз особливостей розселення населення Волинської області з використанням центрографічного методу / В. Лажник, С. Пугач // Часопис соціально-економічної географії. – 2017. – Вип. 22. – С. 111–117.
10. Мельник М. І. Розвиток урбанізаційних процесів в умовах децентралізації: аналітична довідка / М. І. Мельник, С. Д. Щеглюк, Р. Є. Яремчук // ДУ „Інститут регіональних досліджень ім. М. І. Долишнього НАН України”. – Львів, 2017. – 10 с.
11. Мольчак Я. О. Особливості гео економічних та демографічних умов Волинської області / Я. О. Мольчак, І. В. Андрущук, І. Я. Мисковець // Економіка і суспільство: електронне наукове фахове видання. – Мукачево, 2017. – Вип. 10. – С. 503–509.
12. Олійник Я. Б. Урбанізація Волинської області: історичний аналіз та сучасні особливості з погляду життєдіяльності населення / Я. Б. Олійник, Г. С. Голуб // Географія та туризм. – 2012. – Вип. 18. – С. 214–221.
13. Поручинський В. І. Активізація містоутворюючих функцій в умовах транскордонного співробітництва (на прикладі Волинської області) / В. І. Поручинський, М. Р. Влах // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. – 2012. – № 18. – С. 76–80.
14. Прибиткова І. М. Еволюція міських систем у часі й просторі: український варіант розвитку / І. М. Прибиткова // Містобудування та територіальне планування. – 2011. – Вип. 41. – С. 351–368.
15. Прищепя О. П. Міста Волині у другій половині XIX – на початку XX ст.: монографія / О. П. Прищепя. – Рівне: ПП ДМ, 2010. – 287 с.
16. Статистичний щорічник. Волинь 2016 / за ред. В. Ю. Науменка. – Луцьк, ГУС у Вол. обл., 2017. – 450 с.
17. Стренгалюк А. В. Взаєморозвиток урбанізаційних та демографічних процесів в Україні / А. В. Стренгалюк // Економічна та соціальна географія. – 2013. – Вип. 2. – С. 337–348.
18. Україна. Огляд процесів урбанізації: звіт Світового Банку про урбанізацію України 1989–2013 рр., 2015. – 216 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/0B9jMMVcZIHvkdXE3XzI0c0JWem8/view>
19. Чисельність наявного населення України на 01 січня 2013 р., 2016 р., 2017 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://database.ukrcensus.gov.ua>
20. *Beyond the metropolis: urban geography as if small cities mattered* by Benjamin Ofori-Amoah, ed. Call Number: Baker/Berry GF 125. B49 2007. – 230 p.
21. Knox, Paul L. *Urban social geography: an introduction* / Paul Knox, Steven Pinch. – 6th ed. – 392 p.
22. Niemets L. Demographic situation as an indicator of socio-economic development (on example of Volyn and Kharkiv regions of Ukraine) / L. Niemets, M. Melniichuk, K. Segida, T. Pogrebyskiy // Uniwersytet Śląski Wydział Nauk o Ziemi Sosnowiec 2016, Acta Geographica Silesiana, 22. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 2016 – P. 43-57.
23. Niemets L. Regional settlement system as a factor of distribution of health care institutions (on example of Volyn region of Ukraine) / L. Niemets, K. Niemets, K. Segida, T. Pogrebyskiy // Canadian Journal of Science, Education and Culture. – No.1. (5) (January-June). – Volume II. – Toronto: «Toronto Press», 2014. – P. 185-190.
24. *The Future of Urban Sociology* Tim May, Beth Perry, Patrick Le Galès, Saskia Sassen and Mike Savage – 2005. – 343p.
25. *The time of the city : politics, philosophy and genre* by Michael J. Shapiro Call Number: Baker/Berry HT 151 .S454 2014. – 212p.
26. *Urbanization : an introduction to urban geography* by Paul L. Knox; Linda M. McCarthy Call Number: Baker/Berry GF 125 .K56 2005. – 564p.

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

UDC 314.117.1(477.82)

***Tetiana Pavlovska,***

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Physical Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
9 Potapova Str., Lutsk, 43000, Ukraine,  
e-mail: pavlovska2011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4931-0803>,

***Taras Pohrebskyi,***

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [taraspogrebskyi@gmail.com](mailto:taraspogrebskyi@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2290-134X>;

***Gennadii Golub,***

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [golubgs111@gmail.com](mailto:golubgs111@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3548-6998>;

***Volodymyr Poruchynsky,***

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Economic and Social Geography, Faculty of Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [poruchynsky@gmail.com](mailto:poruchynsky@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4605-5424>

## URBAN POPULATION OF VOLYN REGION: RESETTLEMENT AND DYNAMICS

**Introduction.** Currently, the spatial and temporal evolution of urban settlement systems has become an important object of the research at the regional, national and global levels. After all, urbanization is a rather complicated process. On the one hand, it is characterized by an increase in the size of the urban population, level of comfort and standard of living, modernization of all spheres of society's life. On the other hand, urbanization is accompanied by tensions regarding the use of basic natural resources, inconsistency in the demands of life comfort from the pace of development of housing and communal services and the planning structure of cities, etc. The study of the spatial and temporal evolution of the urban settlement systems is an important task on the regional, national and global levels. Therefore, the identification of resettlement patterns, the dynamics of urban processes and qualitative characteristics of the urban population, in particular, Volyn region are very relevant and deserve attention of modern geodemographers.

**The aim of the article** is to analyze the settlement of the existing urban population and its dynamics in Volyn region.

**Research methodology.** The following research methods are used: comparative-geographical, mathematical-statistical, method of geoinformation modeling (using MapInfo Professional 8.0 SCP).

**The results of the research** reflect the current urban tendencies in Volyn region, in particular, the unevenness of the settlement of the urban population through natural and economic factors. During the research period, the dynamics of the number of urban residents increased as a result of migration growth, and the percentage of urbanization in Volyn region stabilized. Currently, the number of urban population and the urbanization of Volyn region, in addition to natural reproduction of the population and intra-regional migration, have a significant impact on interregional and interstate migration flows. Since urbanization reflects contemporary socio-economic trends in the development of society, the issue of urban lifestyles remains among perspective research.

**Scientific novelty and practical significance.** The course, trends and dynamics of urbanization processes in Volyn and other Ukrainian regions have become an important task on the way to improving the effectiveness of spatial planning, especially in terms of territorial and administrative reform in Ukraine.

**Keywords:** Volyn region, migration growth, city, urban population, natural growth, urban-type settlement, urbanization.

### References

1. Burjachenko, A. Je. (2013). *Urbanizacija v konteksti finansovogho, demografichnogho ta socialjnogho rozvytku [Urbanization in the context of financial, demographic and social development]. Vcheni zapysky – Scientists note, 15, 84–95 [in Ukrainian].*

2. Venghryn, D. V., & K. Ju. Seghida (2017). *Typizacija rehionalnykh urbanizacijnykh procesiv v Ukraïni [Unification of regional urbanization processes in Ukraine]*. *Visnyk Kharkivskogho nacionalnogho universytetu imeni V. N. Karazina – The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University*, 47, 71–77 [in Ukrainian].
3. Vлах, M. R., & Poruchynskij, V. I. (2007). *Istoryko-gheografichni peredumovy formuvannja systemy rozselennja Volynskoj oblasti [Historical and geographical preconditions of the formation of the settlement system of Volyn region]*. *Istoriya ukrajinskoï gheografiji – History of Ukrainian Geography*. (pp. 32–39). Ljviv [in Ukrainian].
4. Ghaljamar, V. O. (2017). *Urbanizacija: sutnistj ta vplyv na ekonomichne zrostantnja [Urbanization: the essence and the influence to economic growth]*. *Visnyk ZhDTU – Bulletin of Zhytomyr State Technological University*, 4 (82), 72–76 [in Ukrainian].
5. Dronova, O. L. (2014). *Gheourbanistyka [Urban geography]*. Kyiv : Vydavnycho-poligrafichnyj centr „Kyjivskij universytet” [in Ukrainian].
6. Zastavecjkij, T. B. (2005). *Systema misjkykh poselenj aghropromyslovogho rehionu v umovakh transformaciji suspiljstva: monografija [The system of urban settlements in the agro-industrial region in the context of the transformation of society]*. Ternopil [in Ukrainian].
7. Kykhtjuk, V. (2012). *Osnovni typy ta kiljistyj poselenj na Volyni [The main types and the number of settlements in Volyn]*. *Ostrozkyj krajeznavchij zbirnyk – Ostrog regional collections*, 5, 216–225 [in Ukrainian].
8. Kotenok, D. M. (2013). *Ekonomichna ocinka urbanizacijnykh procesiv v Ukraïni ta formuvannja ekonomichnogho potencialu mista [Economic assessment of urbanization processes in Ukraine and formation of the economic potential of the city]*. *Investyciji: praktyka ta dosvid – Investments: practice and experience*, 7, 40–45 [in Ukrainian].
9. Lazhnik, V., & Pughach, S. (2017). *Prostorovyj analiz osoblyvostej rozselennja naseleennja Volynskoj oblasti z vykorystannjam centrografichnogho metodu [Spatial analysis of the population distribution of Volyn region using the centographic method]*. *Chasopys socialjno-ekonomichnoï gheografiji – Journal of Socio-Economic Geography*, 22, 111–117 [in Ukrainian].
10. Meljnyk, M. I., & Shheghljuk, S. D., & Jaremchuk, R. Je. (2017). *Rozvytok urbanizacijnykh procesiv v umovakh decentralizaciji : analitychna dovidka [Evolution of urbanization processes under decentralization: an analytical reference]*. Lviv: DU „Instytut rehionalnykh doslidzenj im. M. I. Dolishnjogho NAN Ukraïny” [in Ukrainian].
11. Moljchak, Ja. O., & Androszhuk, I. V., & Myskovec, I. Ja. (2017). *Osoblyvosti gheoekonomichnykh ta demografichnykh umov Volynskoj oblasti [Features of geo-economic and demographic conditions of the Volyn region]*. *Ekonomika i suspiljstvo : elektronne naukove fakhove vydannja – Economics and Society: Electronic Scientific Specialty Edition*, 10, 503–509 [in Ukrainian].
12. Olijnyk, Ja. B., & Gholub, Gh. S. (2012). *Urbanizacija Volynskoj oblasti: istorychnyj analiz ta suchasni osoblyvosti z pohljadu zhyttjedijalnosti naseleennja [Urbanization of the Volyn region: historical analysis and modern features according to the point of view of life of the population]*. *Gheografija ta turizm – Geography and tourism*, 18, 214–221 [in Ukrainian].
13. Poruchynskij, V. I., & Vлах, M. R. (2012). *Aktyvizacija mistoutvorjuchykh funkcij v umovakh transkordonnogho spivrobitnyctva (na prykladi Volynskoj oblasti) [Activation of city-forming functions in conditions of cross-border cooperation (taking Volyn region as an example)]*. *Naukovyj visnyk Volynskogho nacionalnogho universytetu imeni Lesi Ukraïny – Scientific bulletin of Volyn National University named after Lesya Ukrainka*, 18, 76–80 [in Ukrainian].
14. Prybytkova, I. M. (2011). *Evoljucija misjkykh system u chasi j prostori: ukrajinskyj variant rozvytku [Evolution of urban systems in time and space: the Ukrainian version of development]*. *Mistobuduvannja ta terytorialne planuvannja – Town planning and territorial planning*, 41, 351–368 [in Ukrainian].
15. Pryshhepa, O. P. (2010). *Mista Volyni u drugij polovyni KhKh – na pochatku KhKh st. : monografija [Volyn towns in the second half of the nineteenth and early twentieth centuries]*. Rivne : PP DM [in Ukrainian].
16. *Statystychnyj shhorichnyk. Volynj 2016 [Statistical Yearbook. Volyn 2016]*. V. Ju. Naumenko (Eds). Lutsk, GhUS u Vol. obl. (2017) [in Ukrainian].
17. Strengaljuk, A. V. (2013). *Vzajemorozvytok urbanizacijnykh ta demografichnykh procesiv v Ukraïni [Mutual development of urbanization and demographic processes in Ukraine]*. *Ekonomichna ta socialjna gheografija – Economic and social geograph*, 2, 337–348 [in Ukrainian].
18. *Ukraïna. Oghljad procesiv urbanizaciji: zvit Svitovogho Banku pro urbanizaciju Ukraïny 1989–2013 rr. [Ukraine. Overview of the processes of urbanization: the World Bank report on the urbanization of Ukraine 1989-2013]*. [drive.google.com. Available at: http://drive.google.com/file/d/0B9jMMBcZIHvkdXE3XzlOc0JWem8/view](http://drive.google.com/file/d/0B9jMMBcZIHvkdXE3XzlOc0JWem8/view) [in Ukrainian].
19. *Chyseljnistj najavnogho naseleennja Ukraïny na 01 sichnja 2013 r., 2016 r., 2017 r. [The number of the existing population of Ukraine on the first of January of 2013, 2016, 2017]*. [database.ukrcensus.gov.ua](http://database.ukrcensus.gov.ua). Available at: <http://database.ukrcensus.gov.ua>. [in Ukrainian].
20. *Beyond the metropolis: urban geography as if small cities mattered* by Benjamin Ofori-Amoah, ed. (2007). Call Number: Baker/Berry GF 125.B49, 230.
21. Knox, Paul, Pinch, Steven (1982). *Urban social geography : an introduction*. 6th ed., 392.
22. Niemets L., Melniichuk M., Segida K., Pogrebskyi T. (2016). *Demographic situation as an indicator of socio-economic development (on example of Volyn and Kharkiv regions of Ukraine)*. *Uniwersytet Śląski Wydział Nauk o Ziemi Sosnowiec 2016, Acta Geographica Silesiana*, 22. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 43-57.



23. Niemets L., Niemets K., Segida K., Pogrebskyi T. (2014). *Regional settlement system as a factor of distribution of health care institutions (on example of Volyn region of Ukraine)*. *Canadian Journal of Science, Education and Culture*. Toronto: «Toronto Press», 1(5) (January-June), II, 185-190.
24. Tim May, Beth Perry, Patrick Le Galès, Saskia Sassen and Mike Savage (2005). *The Future of Urban Sociology*. 343.
25. *The time of the city : politics, philosophy and genre* by Michael J. Shapiro (2014). Call Number: Baker/Berry HT 151.S454, 212.
26. *Urbanization : an introduction to urban geography* by Paul L. Knox; Linda M. McCarthy (2005). Call Number: Baker/Berry GF 125.K56, 564.

UDC 551.35+911.3:504.052

*Daria Olegivna Pankratenkova,*

Senior Lecturer, Department of Physical Geography and Environmental Sciences,  
I. I. Mechnikov Odessa National University, 2 Shampanskiy Per., Odessa, 65058, Ukraine,  
e-mail: [dashap15041989@gmail.com](mailto:dashap15041989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9888-7281>

## CONSTRUCTIVE-GEOGRAPHIC FOUNDATIONS OF NATURE MANAGEMENT ON THE NORTH-WESTERN COAST OF THE BLACK SEA

**Д. О. Панкратенкова. КОНСТРУКТИВНО-ГЕОГРАФІЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯМ НА УЗБЕРЕЖЖІ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ.** Статтю присвячено проблемі управління природокористуванням на узбережжі північно-західній частині Чорного моря, що виникла на основі нераціонального використання природних ресурсів. Розглянуто види антропогенного впливу і господарської діяльності (зростання населення в прибережних районах, урбанізація, забруднення вод акваторії, рекреація, рибальство, будівництво берегозахисних, портових, гідротехнічних та інших видів споруд, промисловість, сільське господарство і т.д.), що призводять до розвитку деструктивних процесів та деградації морських берегів.

На основі аналізу існуючої законодавчої системи управління в Україні, розкрито основні причини хаотичного освоєння морського узбережжя Чорного моря. Проаналізовано діяльність прийнятої всесвітньою громадськістю та ООН концепції «Комплексного управління береговою зоною» (КУБЗ) в різних країнах світу. Головною метою концепції є розробка проектів природокористування на узбережжях, що забезпечують оптимальний баланс між природними системами та соціально-економічним розвитком. Висвітлено цілі, засади та принципи впровадження КУБЗ в Україні, яке передбачає тісну взаємодію наукової, соціально-економічної та законодавчої сфер. Встановлено, що для розробки будь-яких проектів в береговій зоні моря, необхідно мати наукове природне обґрунтування.

Розроблені та вдосконалені конструктивно-географічні основи управління природокористуванням є універсальними й мають важливе значення для гармонізації взаємовідносин між людством і природою, шляхом зниження антропогенних навантажень не тільки в межах берегової зони північно-західної частини Чорного моря, але й Причорноморських країн і всього Світового океану в цілому. Викладені положення можуть стати основою законодавчих природоохоронних проектів.

**Ключові слова:** природокористування, антропогенний вплив, принципи, комплексне управління береговою зоною (КУБЗ), берегова зона, північно-західна частина, Чорне море, Україна.

**Д. О. Панкратенкова. КОНСТРУКТИВНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА ПОБЕРЕЖЬЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ.** Статья посвящена проблеме управления природопользованием на побережье северо-западной части Черного моря, возникшей на почве нерационального использования природных ресурсов. Рассмотрены основные виды антропогенного влияния и хозяйственной деятельности (рост населения в прибрежных районах, урбанизация, загрязнение вод акватории, рекреация, рыболовство, строительство берегозащитных, портовых, гидротехнических и других видов сооружений, промышленность, сельское хозяйство и т.д.), что приводят к развитию деструктивных процессов и деградации морских берегов.

На основе анализа существующей законодательной системы управления в Украине, раскрыты основные причины хаотического освоения морского побережья Черного моря. Проанализировано деятельность принятой всемирной общест-венностью и ООН концепции «Комплексного управления береговой зоной» (КУБЗ) в разных странах мира. Главной целью концепции является разработка проектов природопользования на побережьях, обеспечивающих оптимальный баланс между природными системами и социально-экономическим развитием. Высветлено цели, основы и принципы внедрения КУБЗ в Украине, которое предусматривает тесное взаимодействие научной, социально-экономической и законодательной сфер. Установлено, что для разработки любых проектов в береговой зоне моря, необходимо иметь научное природное обоснование.

Разработанные и усовершенствованные конструктивно-географические основы управления природопользованием являются универсальными и имеют важное значение для гармонизации взаимоотношений между человечеством и природой, путем снижения антропогенных нагрузок не только в пределах береговой зоны северо-западной части Черного моря, но и Причерноморских стран и всего Мирового океана в целом. Изложенные положения могут стать основой законодательных природоохранных проектов.

**Ключевые слова:** природопользование, антропогенное влияние, принципы, комплексное управление береговой зоной (КУБЗ), береговая зона, северо-западная часть, Черное море, Украина.

**Formulation of the problem.** The problem of rational nature management and the protection of the coastal zone of the north-western part of the Black Sea, and the entire World Ocean attracted scientific interest in the middle of the twentieth century. Sea coasts have become the center of gravity for the population of the Earth, and as a result, the basis for the development of high socio-economic infrastructure. The intensive development of the coastal zone of the sea (CZS) and consumer economic activity have led to the development of destructive processes and degradation of natural systems [25,

34]. Solving this problem requires new scientifically based knowledge, new political approaches, public awareness, and most importantly, the development of integrated coastal zone management (ICZM). The concept of integrated coastal management appeared back in the 1980s of the last century, but was recognized in 1992 in Rio de Janeiro at the UN Conference (Agenda 21). The main goal of the concept is to preserve the natural resources of the coastal zone for the future generations, without upsetting the natural balance, but at the same time receiving economic benefits [28, 29].

Solution to the problem of rational nature management at the seashore of the study area is possible only with qualified development and implementation of ICZM. In order to achieve harmony in the natural-anthropogenic system, «coastal zone of the sea man», close interaction of the scientific and legislative spheres is necessary (Fig. 4). Scientific information should comprehensively take into account physiographic and socio-economic processes, as well as the laws of their development that determine the current state and dynamics of changes in natural systems during their operation. In the study of sea coasts, the natural state of all its constituent elements, changes in the hydrometeorological regime, the many-year rise in the level of the oceans, the state of the coastal waters of the sea, just to mention a few. The information obtained can be used to address topical issues and develop a constructive-geographical framework for environmental management in the conditions of transcendental anthropogenic impact.

#### **Analysis of recent research and publications.**

Nowadays, the issue of anthropogenic influence on the environment as a whole, and on the coastal zone in particular, is so relevant that many scientists are studying this problem. The first studies on the shores of the north-western part of the Black Sea were focused on the study of morphodynamic processes with the aim of building shore, port, hydro-technical, recreational and other types of structures. Most publications on this topic belong to such famous Soviet geomorphologists and coastal scientists as: V. P. Zenkovich [15, 16], O. K. Leontyev [19], V. I. Lymarev [20], Yu. V. Artyukhin [3], N. A. Aybulatov [1], G. N. Aksent'ev [2], Yu. D. Shuisky [22-27], G. V. Vykhovanets [5, 25], and others.

Modern studies [5-6, 10-14, 17-18, 26-27 etc.] of the coastal zone in the Black Sea region are aimed at studying various risks on the sea coasts of natural and anthropogenic origin; on the development of scientific recommendations and principles; the introduction of ICZM in Ukraine; the improvement of the current legislative base of the state for the protection and renewal of natural resources. But unfortunately, such research in most cases is carried out at the initiative of altruistic scientists from different institutions, rather than the current legislative environmental authority of management.

Among the latest foreign publications worth highlighting are the findings of [28-38]. They are aimed at studying different types of socio-economic influence on the coastal zone of the World Ocean and its various parts; to search for ways of rational nature management and conservation of natural resources; to solve problems between the scientific and legislative spheres and to develop strategies for

effective integrated coastal zone management (ICZM).

**Identification of previously unsolved parts of a common problem.** Despite the significant number of publications related to the research topic, the information requires a detailed synthesis for the development and improvement of the structural and geographical foundations of environmental management in the coastal zone of the north-western part of the Black Sea. The materials of the work are of significant structural and geographical importance in the implementation of ICZM, for the development of legislative projects and regulatory documents for the optimal use of the natural resources of the Black Sea coast, as well as in the planning and spatial organization of the coastal zone.

**The purpose of the study** is to analyze the current state of the coastal zone of the north-western part of the Black Sea, under conditions of uncontrolled anthropogenic influence, as well as the current management system of the coastal zone of the sea, to develop and to improve the structural and geographical foundations of rational environmental management.

**Providing basic research materials.** Ukraine is a maritime state washed by the Black and Azov Seas. The coastal zone of the north-western part of the Black Sea, according to hydrographic zoning [8], is the area of the first survey, the site, stretching from the Danube Delta to the Bakal Spit in Karkinitzky Bay. According to the developed regionalization of V. P. Zenkovich [16] and improved by his student Yu. D. Shuisky [23], three coastal regions are distinguished in the passages of this territory: Danube, North-Western and Dnieper-Karkinitzskaya (Fig. 1).

The seacoast of this region is actively used in the socio-economic, transport, industrial, agricultural, recreational and other spheres of economic activity. CZS is under increasing pressure mainly due to population growth, urbanization, progressive development of infrastructure in combination with uncoordinated industrial, transport, recreational, coastal, fishing, agricultural and other activities [26]. Since this is important for the national economy, competition for its resources is growing, threatening to destroy the functional integrity of the natural system.

Unqualified intervention in CZS leads to destructive processes and degradation of natural systems. As a result, soil erosion, abrasion-landslide and landslide processes (Fig. 2), coastal waters, reduction of renewable resources, erosion of beaches and coasts (Fig. 3), destruction of the natural unique relief, loss of wetlands and loss of biodiversity, etc. [25, 26].

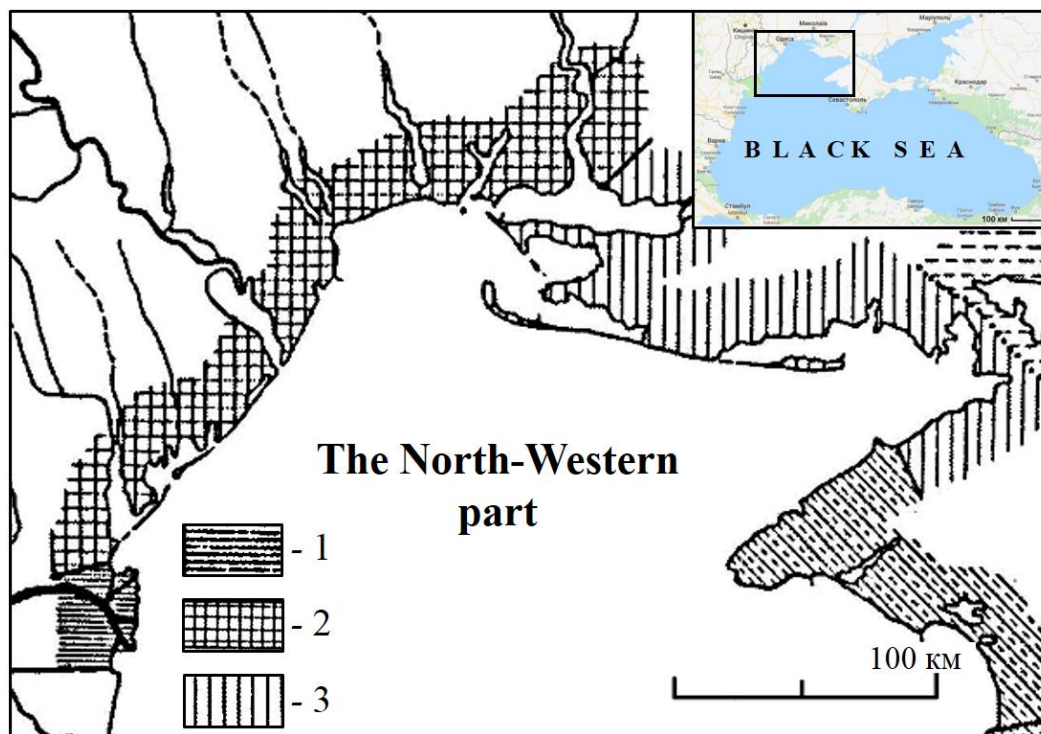


Fig. 1. The north-western part of the Black Sea within which the coastal areas are distinguished:  
1 – Danube; 2 – North-Western; 3 – Dnieper-Karkinitskaya [16, 23]



Fig. 2. Landslide in southwest Odessa, village Sanzheika



Fig. 3. The coast washout on the outskirts of Chernomorsk

One of the reasons for the chaotic development of the coastal zone of the north-western part of the Black Sea is the fact that the interests of all legitimate users have not yet been recognized. Various administrations and enterprises pursue their «narrow» interests without a «big» connection with each other and do not discuss their plans for the future. However, to protect and preserve the coast, we need to do long-term integrated planning and recognize the legitimate interests of all users.

To solve this problem, most coastal countries in the world use integrated coastal zone management

(KUBZ). This concept implies a compromise and compliance with strict physiographic standards when making any interventions in the coastal zone. For example, the construction of an industrial complex or a port on the coast will be incompatible with the development of tourism, and may also destroy some particularly valuable natural systems. Effective implementation of the rules and environmental impact assessment are the tools for implementing KUBZ, which is a method for considering all the possible consequences associated with a given project or policy [28–38].

During the years of her independence, Ukraine also has attempts to introduce the ICZM of the Black and Azov Seas, but judging from the current state of the sea coasts, these were just attempts. The biggest catastrophes and financial losses occurred through the lack of awareness of citizens about the risks that CZS hides (Fig. 2, 3), as well as through the gap between scientific and legislative (political) areas of activity. Thus, there is an urgent need to apply integrated management of the Black Sea coast.

The objectives of the Black Sea coastal oil and sea sector are the main types of actions in all socio-economic areas on which effective management depends:

- ✓ To promote through rational planning of coastal sustainable development, by ensuring that the environment is taken into account in harmony with economic, social and cultural development;
- ✓ To preserve the nature of the coastal zone for present and future generations;
- ✓ To ensure sustainable use of natural resources, especially water;
- ✓ To ensure the preservation of the integrity of the coast, ecosystems, coastal landforms;
- ✓ To prevent and / or reduce the effects of natural disasters and, in particular, climate change, which may be caused by natural or human activities;
- ✓ To harmonize and strengthen the environmental legislation of Ukraine and improve its implementation, as well as to ensure compliance with all prescribed norms;
- ✓ To achieve coherence between public and private initiatives, as well as between all decisions of state bodies at the national, regional and local levels that affect the environmental management of the coastal zone;
- ✓ To create effective management and decision-making mechanisms for the sustainable development of the Black Sea coastal zone [33].

BZM management should cover the full cycle of collecting scientific geographic information, planning, decision-making, management and monitoring of implementation. The ICZM should use the informed participation and cooperation of all interested parties to assess the socio-economic goals in the coastal zone and take certain measures. ICZM should strive for a long-term perspective to balance the interaction of scientific, economic, social, cultural, recreational and other spheres of activity of the population within the legislative norms [32, 37].

The long-term success of ICZM depends on influence of those groups' support and individuals whose interests will be most affected by the implementation of the program. The participation of all major ICZM stakeholders, including the general public is necessary for the participation of all stake-

holders in the processes of program development and implementation [36].

In order to avoid the threat of the depletion of natural resources and disruption of the physical-geographical balance, it is necessary to develop scientific principles of rational nature management, a system of measures aimed at protecting, rational use and restoring natural resources, as well as maintaining natural balance. It is very important to organize the protection not only of individual components of the BZM, but also the preservation and possible recovery of the entire coast as a whole, the protective functions of which have significantly decreased due to intensive economic activity [23].

When implementing the ICZM in the north-western part of the Black Sea, the legislature can be guided by the following principles [9, 13, 27, 29, 31, 33]:

*Principle 1.* The coastal zone is a unique system of natural resources, it requires special approaches to management and planning.

*Principle 2.* The use of an integrated approach to management and planning of the coastal zone in the interaction of land and sea.

*Principle 3.* Adaptive management during the ICZM process, which will facilitate adjustments as problems and knowledge evolve. This implies the need for a reliable scientific basis for the evolution of the coastal zone.

*Principle 4.* The main task in the management of natural resources of the coastal zone is to preserve the total public and private material resources.

*Principle 5.* Development of land use strategies, plans and programs covering urbanization and various types of socio-economic activities of mankind, as well as other policy actions necessary for a successful ICZM.

*Principle 6.* Support and participation of relevant administrative bodies at the national, regional and local levels, between which relevant links should be established or maintained in order to improve the coordination of the various existing policies.

*Principle 7.* The preservation of the sustainable use of natural resources is one of the main objectives of coastal zone management.

*Principle 8.* Preliminary assessments should be conducted taking into account the risks of natural and anthropogenic origin in order to prevent and reduce their negative impact on the coastal zone.

*Principle 9.* An approach to environmental impact assessment is important for the effective management of coastal areas.

*Principle 10.* The organization of environmental systems in the coastal zone, which play the role of a kind of frame and allow you to preserve the most valuable natural complexes in their natural



state.

Despite the wide range of scientific information in the coastal areas, unfortunately, there is no connection between science and politics. Thus, there are problems that prevent bridging the gap between the scientific and legislative spheres: 1) unsatisfactory participation of scientists in the management of coastal zone; 2) lack of reliable information and data for management planning initiatives; 3) difficulties associated with the communication of scientific findings and their applicability for decision-making.

Despite some interest in the legislative bodies to scientific and technical approach of solving problems of coastal areas, the integration of results into coastal zone management plans is not guaranteed since decisions are often made with a downward approach and without the participation of scientists from different organizations. For effective use of the Black Sea ICZM in Ukraine, taking into account anthropogenic influence, there must be a coordinated relationship between the scientific and legislative sphere (Fig. 4).

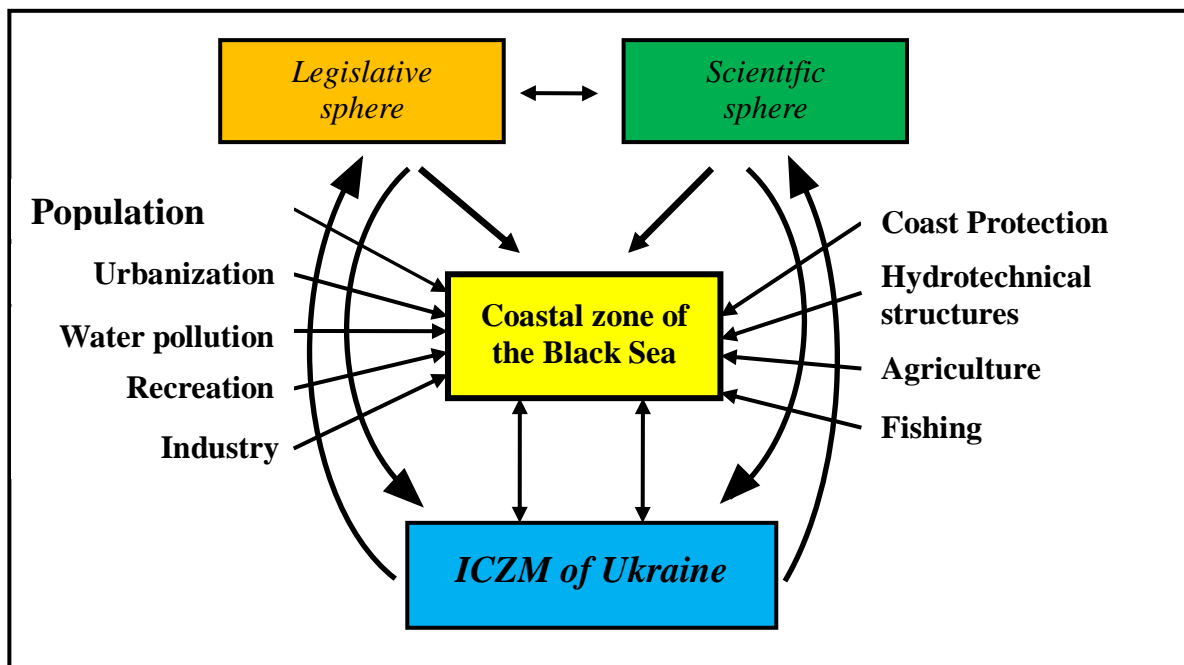


Fig. 4. Optimized scheme of integrated coastal zone management in the north-western part of the Black Sea [29]

It should be noted that the preservation of the natural resources and biodiversity of the coastline is more often constrained by political uncertainty and bureaucratic inertia than by lack of scientific information. This situation can only improve when the government begins to realize the importance of the resources in the coastal zone of the Black Sea.

**Conclusions.** The current state of the coastal zone of the Black Sea within Ukraine is under strong anthropogenic pressure. Vigorous economic activity (urbanization, recreation, agriculture, industry, fishing, construction of infrastructure, shore protection, hydrotechnical and other types of facilities) and, as a result, chaotic bank management have led to the development of destructive processes and degradation of the coastal zone of the Black Sea.

The seaboard of the north-western part of the Black Sea is one of the most important unique natural resources requiring the use of integrated coastal zone management (ICZM). This approach should provide a basis for the implementation of measures

that are necessary to preserve the most important coastal natural systems for the present and the future generations.

It is necessary to establish a system of relations between the scientific and legislative sphere at ICZM. Any distribution rights to use coastal resources should be based on a scientific nature study with the assistance of all levels of government.

When developing projects for planning and carrying out of any kind of actions in the coastal zone of the Black Sea, one should take into account the historically established structure of the relationship between physiographic elements (coast, submerged slope, aeolian ridges, hydrometeorological conditions, vegetation, condition of coastal waters), including the processes and mechanisms of development of this natural system.

Developed and improved structural and geographical foundations of environmental management are universal and are important for harmonizing the relationship between humanity and nature,

by reducing anthropogenic pressures not only within the coastal zone of the north-western part of the Black Sea, but also in the Black Sea countries and

the World Ocean as a whole. These provisions can be the basis of legislative environmental projects.

#### References

1. Айбулатов Н. А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне / Н. А. Айбулатов. – Ленинград: Гидрометиздат, 1990. – 272 с.
2. Аксентьев Г. Н. Динамика рельефа подводного склона северо-западных берегов Черного моря / Г. Н. Аксентьев // *Океанология*. – 1970. – Т. 10. – № 3. – С. 448-456.
3. Артюхин Ю. В. Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря / Ю. В. Артюхин. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. – 1989. – 144 с.
4. Веденин Ю. А. Динамичность среды и ресурсов в рекреационной деятельности / Ю. А. Веденин // *Рекреационные ресурсы и методы их изучения*. – Москва: Изд-во ГО СССР. – 1981. – С. 4-14.
5. Вихованец Г. В. Влияние антропогенного фактора на современное состояние аккумулятивных форм рельефа северо-западной части Черного моря / Г. В. Вихованец, Д. О. Панкратенкова // *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. – 2018. – Т. 23. – Вип. 1. – С. 11-32.
6. Воронка В. П. Особливості управління природокористуванням у прибережній смузі Азовського моря / В. П. Воронка // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. – 2017. – Випуск 47. – С. 77-84.
7. Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических систем / отв. ред. Т. Д. Александрова, В. С. Преображенский, П. Г. Шищенко. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1985. – 236 с.
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. А. И. Симонова, Е. Н. Альтмана. – СПб: Гидрометеоиздат, 1991. – 430 с.
9. Гродзинський М. Д. Заповідна справа в Україні: Навчальний посібник / за заг. редакцією М. Д. Гродзинського, М. П. Стеценка. – К.: Географіка, 2003. – 306 с.
10. Громова Е. Н. Комплексное антикризисное управление прибрежными зонами / Е. Н. Громова, В. И. Золотов, С. Г. Шунтова // *Природні та природно-техногенні ризики берегової зони морів: Матеріали міжнародної конференції (7-11 вересня 2008 р.)*. – Одеса: ІПРЕД НАН України. – 2008. – С. 130-131.
11. Демьяненко С. Г. Проекты берегозащиты в контексте формирования рынка экологических услуг / С. Г. Демьяненко, В. И. Золотов // *Економічні інновації*. – 2011. – Вип. 58. – С. 95-105.
12. Демьяненко С. Г. Проблемы планирования развития морской береговой зоны / С. Г. Демьяненко, В. И. Золотов // *Економіка: реалії часу. Науковий журнал. Серія: Сучасні проблеми регіонального розвитку*, 2012. – №1(2). – С. 107-113.
13. Загальнодержавна програма охорони та відтворення довкілля Азовського і Чорного морів: Затверджена Законом України від 22 березня 2001 р. № 2333-III // *Відомості Верховної Ради*. – 2001. – № 28.
14. Закономірності сучасного розвитку берегової зони морів України в умовах підвищеного антропогенного тиску і сучасних змін клімату: звіт про НДР (заключний) / кер. Ю. Д. Шуйський; викон.: Одеський державний університет імені І. І. Мечникова. – Одеса, 1999. – 87 с. – № ДР 0198V002242. – Інв. № 74735479.
15. Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей / В. П. Зенкович. – М.: Географиз., 1958. – 374 с.
16. Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря: Том II / В. П. Зенкович. – Москва: Изд-во АН СССР, 1960. – 216 с.
17. Зеркаль М. В. Конструктивно-географічні принципи територіальної організації берегових зон у населених пунктах / М. В. Зеркаль // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. – 2013. – № 1-2. – С. 56-60.
18. Комплексное управление прибрежной зоной: от теории к практике. Центр региональных исследований. – Одесса: Овидиополь, 2008. – 8 с. – Режим доступа: <http://www.britishcouncil.org/uk/ukraine-science-sepsprojects-2006.htm>
19. Леонтьев О. К. Геоморфология морских берегов / О. К. Леонтьев, Л. Г. Никифоров, Г. А. Сафьянов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. – 336 с.
20. Лымарев В. И. Береговое природопользование: вопросы методологии, теории, практики. Монография / В. И. Лымарев. – СПб.: РГГМУ, 2000. – 168 с.
21. Студенніков І. В. Інтегроване управління приморською зоною: базові поняття, принципи і значення для сталого розвитку України / І. В. Студенніков, О. А. Дьяков // *Стратегічна панорама*. – 2005. – № 3. – С. 1-9.
22. Шуйський Ю. Д. Напрямки захисту і збереження природних ресурсів морських берегів у контексті потреб туризму / Ю. Д. Шуйський // *Проблеми комплексного освоєння і целевого використання Азово-Чорноморського побережжя України*. – Одеса: Астропринт. – 1998. – С. 17-19.
23. Шуйський Ю. Д. Довжина берегів Чорного та Азовського морів у межах України / Ю. Д. Шуйський // *Український Географічний журнал*. – 2001. – № 1. – С. 33 – 36.
24. Шуйський Ю. Д. Основы стратегии строительства в береговой зоне Черного и Азовского морей / Ю. Д. Шуйський // *Исследования береговой зоны моря*. – Киев: Карбон Лтд. – 2001. – С. 8-24.
25. Шуйський Ю. Д. Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря / Ю. Д. Шуйський, Г. В. Вихованец. – Москва: Недра, 1989. – 198 с.

26. Шуйский Ю. Д. Краткая оценка влияния антропогенного фактора на береговую зону Черного моря / Ю. Д. Шуйский, Д. О. Панкратенкова // *Арктические берега: путь к устойчивости: Материалы Конференции.* – Мурманск: МАГУ, 2018. – С. 277-280.
27. Шуйский Ю. Д. История развития и методология береговедения: монография / Ю. Д. Шуйский. – Одесса : Астропринт, 2018. – 448 с.
28. Breen, B. Hynes, S. (2014). *Shortcomings in the European principles of Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Assessing the implications for locally orientated coastal management using Biome Portfolio Analysis (BPA)* / B. Breen, S. Hynes // *Marine Policy.* – 2014. – P. 406–418.
29. Coastal Zone Management Authority and Institute (CZMAI). *Belize Integrated Coastal Zone Management Plan: [Electronic resource].* – Access mode: <https://www.coastalzonebelize.org/>
30. *Coastal zones: achieving sustainable management. Science for Environment Policy.* – InTech, 2014. doi: 10.2779/53698.
31. Clark, R. J. *Integrated management of coastal zones.* / R. J. Clark // *Research Associate National Park Service Program Rosenstiel School of Marine Sciences University of Miami, Florida, USA.* – 1994. – 327 p.
32. Harvey, N., Caton, B. *Coastal Management in Australia* / N. Harvey, B. Caton. – 2010. – 361 p.
33. Ibrahim H. *The Role of SEA in Delivering High Level Environmental Policy Objectives in Coastal Zone Management in Egypt* / H. Ibrahim, I. Hegazy // *Coast Zone Management.* – InTech, 2015. doi: 10.4172/2473-3350.1000405
34. *Guideline on Integrated Coastal Zone Management: [Electronic resource].* – Access mode : [http://www.blacksea-commission.org/Downloads/Black\\_Sea\\_ICZM\\_Guideline/Black\\_Sea\\_ICZM\\_Guideline.pdf](http://www.blacksea-commission.org/Downloads/Black_Sea_ICZM_Guideline/Black_Sea_ICZM_Guideline.pdf)
35. Obraczka, M., Beyeler, M., Magrini, A., Legey, L. F. (2017). *Analysis of Coastal Environmental Management Practices in Subregions of California and Brazil* / M. Obraczka, M. Beyeler, A. Magrini, L. F. Legey // *Journal of Coastal Research.* – InTech, 2017. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-15-00239.1.
36. Swamy, D. A. *Coastal Zone Environmental Management in Udupi District, Karnataka State, India* / D. A. Swamy, B. E. Basavarajappa, E. T. Puttaiah // *International Journal of Engineering and Science.* – 2012. – Vol. 1, Is. 3. – P. 8-11.
37. Wang, X. H. *Integrated coastal zone management research in Australia and China* / X. H. Wang, S. G. Pearson, R. J. Morrison, P. Shi, X. Xu, G. Xue, D. Liu // *Labour and Management in Development Journal.* – 2011. – Vol.11. – P. 1-17.
38. Xuea, X. *Cumulative environmental impacts and integrated coastal management: the case of Xiamen, China* / X. Xuea, H. Honga, A. T. Charlesb // *Journal of Environmental Management.* – InTech, 2004. doi: 10.1016/j.jenvman.2004.03.006.

UDC 551.35+911.3:504.052

**Daria Pankratenkova,**

Senior Lecturer, Department of Physical Geography and Environmental Sciences,  
I. I. Mechnikov Odessa National University, 2 Shampanskiy Per, Odessa, 65058, Ukraine,  
e-mail: [dashap15041989@gmail.com](mailto:dashap15041989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9888-7281>

## **CONSTRUCTIVE-GEOGRAPHIC FOUNDATIONS OF NATURE MANAGEMENT ON THE NORTH-WESTERN COAST OF THE BLACK SEA**

**The aim of the research is** to analyze the problem of anthropogenic influence on the sea coasts, to develop and improve the constructive-geographical foundations of rational nature management for the conservation and possible renewal of natural resources on the north-west coast of the Black Sea.

**Methods.** The main methods used in the preparation process and writing of the article are systematization methods, retrospective, analytical, comparative geographical and historical.

**Scientific novelty of the article.** The fact that the coastal zone of the Black Sea coast is experiencing uncontrolled anthropogenic impacts; this research has improved and developed constructive-geographical foundations for their rational management.

**Practical value.** Developed scientific recommendations are universal. They are very important for the implementation of integrated management of the coastal zone in the country, the optimization of nature management and the preservation of the natural systems on the north-west coast of the Black Sea, in particular, and the entire World Ocean, as a whole.

**Research results.** Intensive development of the coast and consumer economic activity over the past decades has led to the degradation of natural systems. Rational use of natural resources of the coastal zone of the sea assumed the development of foundations that comprehensively take into account the physical-geographical and socio-economic processes, as well as the laws of their development that determine the current state and dynamics of changes in natural systems during their operation. On the basis of a detailed study

of domestic and foreign publications related to this topic, the activities of integrated coastal zone management (ICZM) in different countries of the world were analyzed. The foundations and principles for introducing ICZM in Ukraine are highlighted. It has been established that for the development of any projects in the coastal zone of the sea, it is necessary to have a scientific natural rationale from scientists obtained in the process of detailed research. These provisions can be the scientific basis of the relevant legislative framework for the optimization of nature management and spatial planning on the north-west coast of the Black Sea.

Well-developed and improved scientific provisions are suitable for correcting the current situation in the direction of higher efficiency on coastal control. These constructive-geographic foundations can become the basis and the main algorithm for practical implementation of environmental legislation in Ukraine.

**Keywords:** nature management, principles, anthropogenic influence, integrated coastal zone management (ICZM), coastal zone, north-west, Black Sea, Ukraine.

#### References

1. Aybulatov, N. A. (1990). *Dynamics of solid matter in the shelf zone*. Leningrad, 272 [in Russian].
2. Aksent'ev, G. N. (1970). *Dynamics of the relief of the underwater slope of the north-western shores of the Black Sea*, *Oceanology*, V. 10, № 3, 448-456 [in Russian].
3. Artyukhin, Yu. V. (1989). *Anthropogenic factor in the development of the coastal zone of the sea*. Rostov-on-Don, 144 [in Russian].
4. Vedenin, Yu. A. (1981). *Dynamism of the environment and resources in recreational activities*. *Recreational resources and methods for their study*, 4-14 [in Russian].
5. Vihovanets, G. V., Pankratenkova, D. O. (2018). *The influence of the anthropogenic factor on the current state of the accumulative relief forms of the north-western part of the Black Sea*. Odessa National University. *Series: Geographical and geological sciences*, 11-32 [in Russian].
6. Vorovka, V. P. (2017). *Peculiarities of nature management in the coastal zone of the Azov Sea*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Geology. Geography. Ecology*, 77-84 [in Ukrainian].
7. Alexandrova, T. D., Preobrazhensky, V. S., Shishchenko, P. G. (1985). *Geoecological approaches to the design of natural-technical systems*. Moscow, 236 [in Russian].
8. Simonov, A. I., Altman, E. N. (1991). *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Volume IV. Black Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions*. SPb: Gidrometeoizdat, 430 [in Russian].
9. Grodzinskii, M. D., Stetsenko, M. P. (2003). *Protected Case in Ukraine: Textbook*. K.: Geography, 306 [in Ukrainian].
10. Gromova, E. N., Zolotov, V. I., Shuntova, S. G. (2008). *Integrated anti-crisis management of coastal zones / E. N. Gromova. Natural and natural-man-made risks of the coastal zone of the sea: Materials of the international conference*, 130-131 [in Russian].
11. Demyanenko, S. G., Zolotov, V. I. (2011). *Coastal protection projects in the context of the formation of the market for environmental services*. *Economic Innovations*, 95-105 [in Russian].
12. Demyanenko, S. G., Zolotov, V. I. (2012). *Problems of planning the development of the marine coastal zone*. *Ekonomika: real hour. Science magazine. Series: Modern problems of regional development*, 107-113 [in Russian].
13. *National Program for the Protection and Restoration of the Environment Azov and Black Seas: Approved by the Law of Ukraine dated March 22, 2001 № 2333-III*. (2001). *Information from the Verkhovna Rada*, № 28 [in Ukrainian].
14. Shuisky, Yu. D. (1999). *Patterns of modern development of the coastal zone of the seas of Ukraine in conditions of increased anthropogenic pressure and modern climate change: GDR report (final)*. Executed: Odessa Mechnikov State University. № 0198V002242. Inv. № 747Z5479, 87 [in Ukrainian].
15. Zenkovich, V. P. (1958). *Coasts of the Black and Azov Seas*. Moscow, 374 [in Russian].
16. Zenkovich, V. P. (1960). *Morphology and dynamics of the Soviet shores of the Black Sea: Volume II*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 216 [in Russian].
17. Zerkal', M. V. (2003). *Constructive-geographic principles of territorial organization of coastal areas of population points. Man and the environment. Problems of neoecology*, № 1-2, 56-60 [in Russian].
18. Leontyev, O. K., Nikiforov, L. G., Safyanov, G. A. (1975). *Geomorphology of the Sea Shores*. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1975. 336 [in Russian].
19. *Integrated coastal zone management: from theory to practice*. Center for Regional Studies. (2008). Odessa: Ovidiopol, 8. Available at : <http://www.britishcouncil.org/uk/ukraine-science-sepsprojects-2006.htm>
20. Lymarev, V. I. (2000). *Coastal environmental management: questions of methodology, theory, practice*. Monograph. SPb., 168 [in Russian].
21. Studunnikov, I. V., Dyakov, O. A. (1988). *Integrated Coastal Zone Management: Basic Concepts, Principles and Importance for Sustainable Development of Ukraine*. *Strategic Panorama*, № 3, 1-9 [in Russian].
22. Shuisky, Yu. D. (1998). *Directions of protection and preservation of natural resources of the seas in the context of the needs of tourism*. *Problems of complex development and target use of the Azov-Black Sea coast of Ukraine*, 17-19 [in Russian].

23. Shuisky, Yu. D. (2001). *The length of the shores of the Black and Azov Seas within Ukraine* *Ukrainian Geographic Journal*, № 1, 33 – 36 [in Ukrainian].
24. Shuisky, Yu. D. (2001). *Basics of the construction strategy in the coastal zone of the Black and Azov seas. Studies of the coastal zone of the sea*, 8-24 [in Russian].
25. Shuisky, Yu. D., Vykhoivanets, G.V. (1989). *Exogenous processes of development of accumulative coasts in the north-western part of the Black Sea. Moscow*, 198 [in Russian].
26. Shuisky, Yu. D., Pankratenkova, D. O. (2018). *Brief assessment of the influence of the anthropogenic factor on the coastal zone of the Black Sea. Arctic shores: the path to sustainability: Conference materials*, 277-280 [in Russian].
27. Shuisky, Yu. D. (2018). *History of development and methodology of coastal science. Odessa*, 448 [in Russian].
28. Breen, B., Hynes, S. (2014). *Shortcomings in the European principles of Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Assessing the implications for locally orientated coastal management using Biome Portfolio Analysis (BPA). Marine Policy*. 406–418
29. Coastal Zone Management Authority and Institute (CZMAI). 2016. *Belize Integrated Coastal Zone Management Plan*. Available at: <https://www.coastalzonebelize.org/>
30. *Coastal zones: achieving sustainable management*. (2014). *Science for Environment Policy*. 46,16. doi: 10.2779/53698
31. Clark, R. J. (1994). *Integrated management of coastal zones. Research Associate National Park Service Program Rosenstiel School of Marine Sciences University of Miami, Florida, USA*. 327.
32. Harvey, N., Caton, B. (2010). *Coastal Management in Australia*. 361.
33. Ibrahim H., Hegazy I. (2015). *The Role of SEA in Delivering High Level Environmental Policy Objectives in Coastal Zone Management in Egypt. Coast Zone Management*. 18, 405. doi: 10.4172/2473-3350.1000405
34. *Guideline on Integrated Coastal Zone Management*. Available at: <http://www.blacksea-commission.org/>
35. Obraczka, M., Beyeler, M., Magrini, A., Legey, L. F. (2017). *Analysis of Coastal Environmental Management Practices in Subregions of California and Brazil. Journal of Coastal Research*. 33 (6), 1315-1332. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-15-00239.1.
36. Swamy, D. A., Basavarajappa, B. E., Puttaiah, E. T. (2012). *Coastal Zone Environmental Management in Udupi District, Karnataka State, India. International Journal of Engineering and Science*. 1 (3), 8-11.
37. Wang, X. H., Pearson, S. G., Morrison, R. J., Shi, P., Xu, X., Xue, G., Liu, D. (2011). *Integrated coastal zone management research in Australia and China. Labour and Management in Development Journal*. 11, 1-17.
38. Xue, X., Hong, H., Charles, A. T. (2004). *Cumulative environmental impacts and integrated coastal management: the case of Xiamen, China. Journal of Environmental Management*. 71, 271–283. doi: 10.1016/j.jenvman.2004.03.006.



UDC 911.3

**Liydmila Borisivna Polishchuk,**

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: [l.polishchuk@physgeo.com](mailto:l.polishchuk@physgeo.com), <https://orcid.org/0000-0001-9887-9524>;

**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,  
e-mail: [swet\\_res@meta.ua](mailto:swet_res@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

**Nadyia 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>

## IDENTIFICATION OF CLIMATE CHANGES BASED ON ANTROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDSCAPES

*Л. Б. Полищук, С. І. Решетченко, Н. І. Черкашина. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗМІН КЛІМАТУ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕНЬ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛАНДШАФТІВ. У статті акцентовано увагу на тому, що розробка стратегії оптимального соціально-економічного розвитку регіонів потребує ідентифікації специфічних зв'язків природних, соціально-економічних утворень та масштабного за наслідками порушення функцій екосистеми планетарного рівня – біосфери. Особливо це стосується найбільш стійкого до негативного впливу людської діяльності компоненту біосфери – атмосфери та її кліматичної складової. Інформація щодо зміни їх стану має вирішальне значення, оскільки господарська діяльність впливає на природні ландшафти та визначає матеріально-енергетичні відносини в довіллі. Це проявляється в створенні різноманіття трансформованих ландшафтів, які пов'язані з певним видом господарювання.*

*Наслідком антропогенних трансформацій є зміна параметрів та характеристик компонентів природного середовища. Основними завданнями дослідження є: спостереження причинно-наслідкових зв'язків між кліматичними змінами, впливом антропогенної діяльності та реакцією на них ландшафтів; отримання показників трансформації повітряних мас в останні десятиліття; визначення причин та ареалів початкового формування та подальшого розвитку змін клімату. Аналіз стану та трансформації ландшафтів, ідентифікація факторів та потенційних антропогенних небезпек дає можливість визначити особливості змін кліматичних умов в межах Харківського регіону. Використання індикаторів сприяє інтерпретації даних, допомагає виявити нераціональні підходи у природокористуванні та формуванні природно-господарських систем. Наведені результати вивчення низки параметрів стану кліматичних умов регіону та особливостей антропогенної трансформації ландшафтів вказують на найбільш вірогідні джерела регіональних змін клімату. Подальша прогностична оцінка цих змін забезпечить вироблення необхідних заходів та умови послідовної їх реалізації в господарській діяльності.*

**Ключові слова:** атмосфера, біорізноманіття, біосфера, гідрометеорологічні процеси, екосистеми, індикатори змін, клімат, природні ландшафти, трансформація ландшафтів.

*Л. Б. Полищук, С. И. Решетченко, Н. И. Черкашина. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ. В статье акцентировано внимание на разработке стратегии оптимального социально-экономического развития регионов, которая требует идентификации специфических связей природных, социально-экономических образований и масштабного, глубокого за последствиями нарушения функций экосистемы планетарного уровня – биосферы. Особенно это касается более устойчивого к негативному влиянию человеческой деятельности компонента биосферы – атмосферы и ее климатических составляющих. В соответствии с рациональными условиями использования природных ресурсов информация о изменении их состояния имеет решающее значение в практических исследованиях, поскольку хозяйственная деятельность влияет на природные ландшафты и определяет материально-энергетические отношения в окружающей среде. Это проявляется в создании разнообразных трансформированных ландшафтов, которые связаны с определенным видом хозяйствования.*

*Антропогенная трансформация ландшафтов приводит к изменениям параметров и характеристик компонентов природной среды. Основными заданиями исследования являются: установление причинно-следственных связей между климатогенными изменениями, влиянием антропогенной деятельности и реакцией на них ландшафтов; получение показателей трансформации воздушных течений за последние десятилетия; определение причин и ареалов первоначальных формирования, и дальнейшего развития изменений климата. Идентификация факторов и анализ степени трансформации ландшафтов в пределах Харьковской области дает возможность определить тенденцию изменений климатических условий. Использование индикаторов упрощает интерпретацию данных, помогает при формировании природно-хозяйственных систем. Дальнейшая прогностическая оценка этих изменений обеспечит разработку необходимых мероприятий оптимизации природопользования и последовательной их реализации в хозяйственной деятельности.*

**Ключевые слова:** атмосфера, биоразнообразие, биосфера, гидрометеорологические процессы, экосистемы, индикаторы изменений, климат, природные ландшафты, трансформация ландшафтов.

**Formulation of the problem.** In recent decades observation of climatic processes and phenomena has shown changes in the functioning of the system at the biospheric level and its global energy im-

balance. Functions of natural geosystems are aimed at preserving organization of its structure but economic activity leads to imbalances, reduction of order, loss of internal organization and inability to

maintain the required stabilization [11, 16]. Movements of energy flows in horizontal and vertical directions of the atmosphere cause heavy rainfall, flooding, dry weather, storms, heat waves, changes in rainfall patterns and other extreme atmospheric phenomena. It is extremely important, therefore, to find solution to the problems of preserving the ability of the biosphere to self-regulation, self-restoration based on optimization of anthropogenic loads on natural systems. Identification of global climate change factors requires in-depth research to find out the most active sources of environmental impact [1-5, 8-9, 14, 21].

Estimates of the effects of the global air temperature growth during 2000-2100 show that frequency of repetition increases, extreme temperature values intensify, global air temperature increases by 2-5 ° C, the sea level – by 0.6-1.2 m, affecting the economic development and human life safety [22].

Studies related to climate change are identified as priorities in the Concept for the implementation of the state policy in the field of climate change for the period up to 2030 and the Strategy of Low Carbon Development of Ukraine until 2050 (SNRD) [15, 17]. They are aimed at studying the impact of these changes on environment to develop a strategy for environmentally sound management of the economy and implementation of this strategy in practice.

#### **Analysis of recent research and publications.**

According to the concept of natural-adapted resource use, the information on changes in the state and characteristics of natural components is very important. These changes are caused by the activity of various enterprises which are the basis for the creation of the national wealth of Ukraine. [6,10]. Climatic parameters of a separate territory may differ from zonal parameters, and in combination with anthropogenic transformation they can affect general conditions of landscapes, lead to the intensification of unfavorable hydrometeorological and exogenous geodynamic processes and phenomena (erosion, deluvial processes, landslides, suffusion, deflation, flooding). It is possible to separate the component of each of them and determine their indicators due to special monitoring research. Indicators of change are the basis for the formation of information blocks to make decisions on socio-economic development and allow consciously to focus on socio-economic, socio-political and environmental issues for different ranks regions.

**Identification of previously unsettled parts of the general problem.** Global warming has pronounced regional peculiarities. It is necessary to develop measures on climate change responses at national, sectoral and regional levels, as outlined in the draft Strategy for Sustainable Development of

Ukraine by 2020 [17, 18]. Existence of the world economic growth trajectory conditioned by greenhouse gas emission reductions is highlighted in the Sustainable Development Goal for the period up to 2030 approved at the UN Summit in 2015.

Practical significance of the research is connected with the management forms not exceeding natural possibilities of self-sufficiency of a favorable climate. The forecast of climate change will ensure development of the necessary environmental measures and conditions for their consistent implementation. The study of the conservation issues of natural component in natural and economic systems as well as biodiversity conservation is effective in overcoming the crisis. This often goes beyond the attention of the relevant institutions [11].

Natural landscapes are a sensitive indicator of the environment condition, so the use of data on the landscape components characteristics is necessary to assess the relevant changes. Global warming will lead to degradation of ecosystems as these problems are interrelated. Identification of changes in the state of the environment requires high efficiency of research on the development of natural territorial complexes of different levels, improvement of the control system for anthropogenic influence [13,16]. Under the influence of changes in the atmospheric-ocean-drift (AOS) system, connected with the greenhouse effect increase, depletion of freshwater resources, agro-climatic resources, desertification is highly possible on the studied territory and the country as a whole [1, 4, 7]. This will determine further direction of the socio-economic development of the country.

#### **Formulation of the purpose of the article.**

The purpose of the study is to determine the causes, areas of initial formation, further development of negative meteorological processes and phenomena on the territory of Kharkiv region during the last decades, as well as to study the parameters and causes of air masses transformation, changes in their properties and resistance to anthropogenic impact.

**Methods of research** are observations with the help of various devices and technical means, as well as the use of cartographic, statistical materials. For integrated observations comprehensive research was carried out within natural and anthropogenic landscapes to obtain information on the transformation of natural processes and phenomena [12]. An integrated approach, using experimental field-based observations and the technology of climatic series analysis with the help of statistical methods for climate information processing, characterized by high accuracy, allow us to determine their spatial-temporal features and future projections to the natural environment.

**Presentation of the main research material.**

The main factors of landscapes' transformation on the territory of Kharkiv region are the high level of land, water, mineral and forest resources development, a significant production density, intensive urbanization processes, the structure of the land fund. Most land has agricultural purpose and has been intensively used in the agrarian sector for a long time. [6, 13]. Acidification of chernozems, pollution due to anthropogenic activity reduces the value of cultivating crops and the quality of soil, which loses its productive functions [12, 16].

Circulating atmospheric processes representing a mechanism for the exchange of different temperature characteristics by air masses, play a significant role in the formation of climatic conditions of Kharkiv region. A climatic regime of the territory is formed at the surface of the earth due to the transfer of heat and moisture, where the synoptic processes of the eastern type predominate [9]. Within the limits of this research the parameters of air temperature, monthly rainfall and wind speed were obtained, allowing us to calculate their deviation from the climatic norm and to reveal the tendencies of their further changes. Air transformation continues as a result of interaction with the underlying surface through the processes of heat exchange (accompanied by evaporation and drying of the underlying surface), and as a result of vertical inflow (outflow) of energy through mixing, which leads to the dry air income from the upper levels to the earth's surface.

The climatic ranges of air temperature, rainfall

and wind speed are derived from the observation data at ten meteorological stations of the Kharkiv Regional Center for Hydrometeorology of the Ministry for Emergencies of Ukraine during 2001-2016 and belong to various (agro-climatic) zones of Ukraine.

At the surface of the earth, growth of the temperature in the lower atmosphere is caused by the heat transfer between the underlying surface and the adjacent layer of air. In the case of heating, this results in the maximum values of air temperature.

Anthropogenic climate transformations are superimposed on natural characteristics and lead to an increase in average annual air temperatures in the range from 1.1 to 1.4 °C (Fig. 1).

The greatest warming is observed in winter at stations Velykyi Burluk (1.8 °C), Kolomak (1.7 °C) and Kharkiv (1.4 °C) in accordance with the climate standard (1961-1990). In the spring-summer period, the growth of air temperature was recorded at the stations of Kharkiv (1.2 °C and 1.7 °C respectively), Krasnohrad (1.1 °C and 1.5 °C) and Kolomak (1.1 °C and 1.4 °C). In the autumn there were slight fluctuations in air temperature (1.2 °C).

The analysis of climatic air temperature series for three periods (1891-1935, 1961-1990, 2001-2016) indicates significant changes in air temperature in the region during 2001-2016, mainly in the winter and summer periods (Figure 2-3).

According to the established criteria the research results show that the temperature of the adjacent atmosphere rises by more than 1.0 °C in the

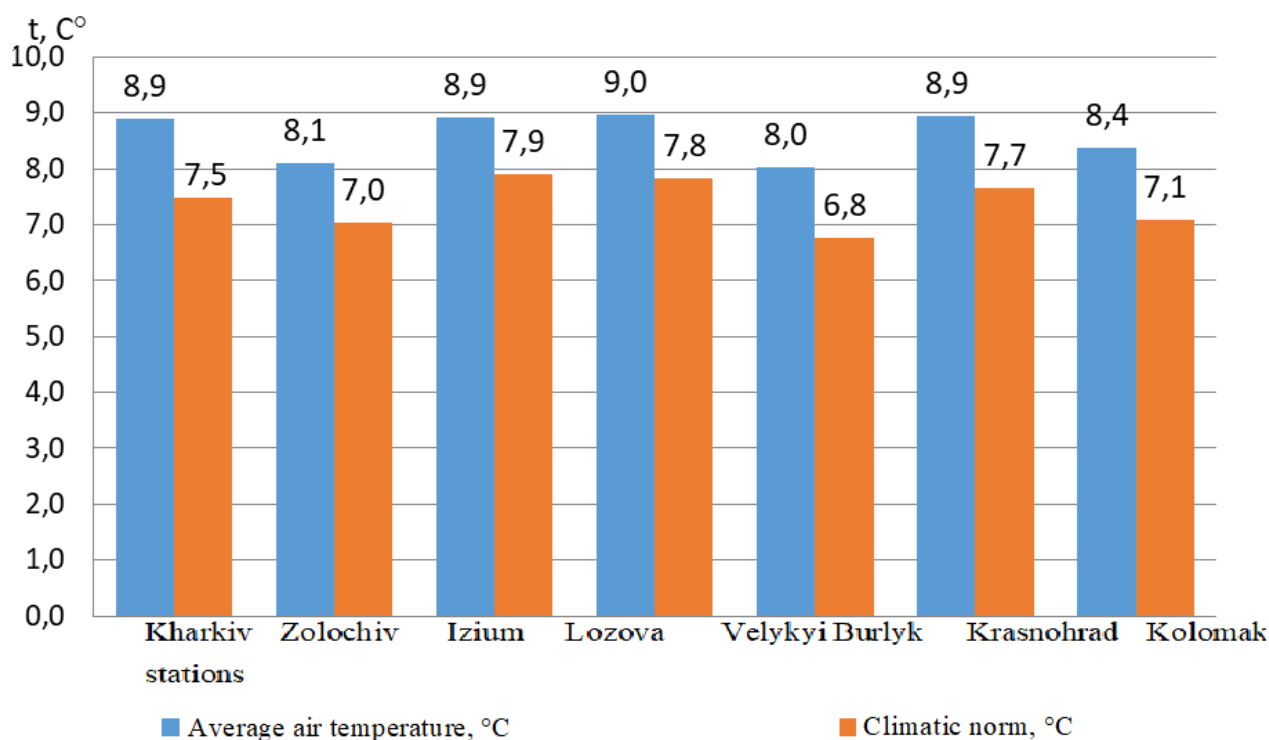


Fig. 1. Dynamics of air temperature on the territory of Kharkiv region

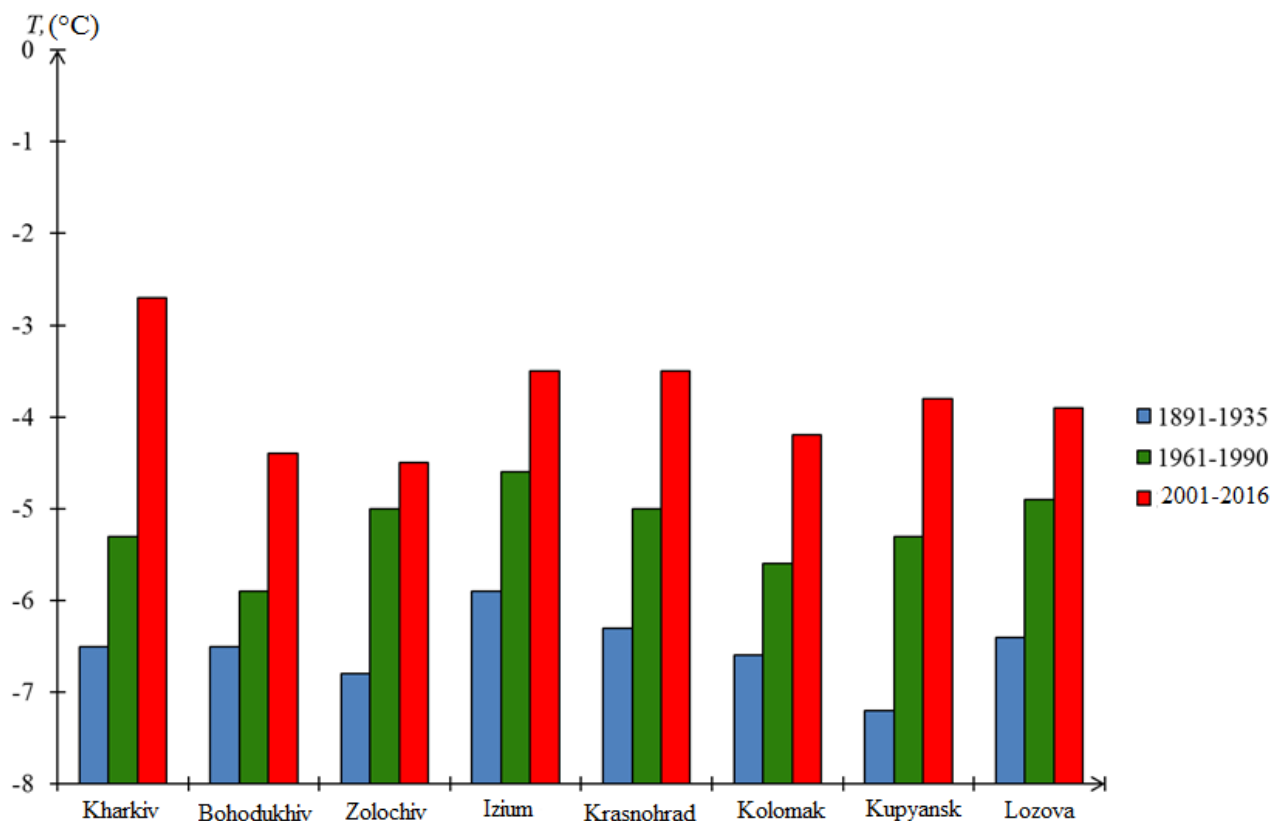


Fig. 2. Dynamics of air temperature on the territory of Kharkiv region (winter)

winter and summer in the territory of Kharkiv region. Significant trends in air temperature are observed in the southwest, south and south-east of the territory within the steppe natural zone. Such conditions are formed when air masses arrive from the southwest and southeast. On the territory of the city of Kharkiv, the air temperature is characterized by maximum deviations from the climatic norm due to the transformation of temperature, precipitation and wind fields.

The peculiarity of the average monthly air temperature dynamics for the period of 2001-2016 at Kharkiv meteorologic station is its growth by 1.6 °C on average in the winter period (December, January, February), in spring - by 1.0 °C, in summer - by 1, 5 °C and in autumn – by 1.2 °C, as compared to the standard climatic norm. In the spring months, the greatest warming occurred in March (by 2.1 °C). July (by 2.1 °C) and August (by 2.0 °) were the hottest months compared with the climatic norms. In autumn, the greatest increase in the air temperature was recorded in November (by 1.6 °C).

Modern changes in the temperature regime of the investigated area indicate a steady tendency of temperature indices growth throughout the year.

The resulting air temperature trends lead to changes in natural ecosystems, reduced biodiversity, disappearance of natural vegetation and animals. Under the provisions of the CISG (Strategy for Low

Carbon Development by 2050), it is necessary to try to keep the air temperature under the scenario of changing global average temperature below 2 ° C from the preindustrial level.

Results of statistical materials on the direction and wind speed for the period 2001-2016 near the earth's surface at an altitude of 10 m for the territory of the region is characterized by an increase in the average monthly wind speed in the autumn-winter period (up to 5 m / s). It is established that the prevailing winds are eastern, north-easterly and southern. Fluctuations of the average wind speed for the period under study are characterized by low values (1 m / s). It was recorded that the number of strong winds with a speed of more than 10 m / s has increased (tabl. 1), causing considerable material damage to the economy: destruction of roofs, blowing crops, destroying trees, wires, structures and causing dangerous waves at large reservoirs [11]. Under such conditions snowstorms forms, damaging the work of transport. Every year up to 15 days during the year with increasing winds are observed.

Within the limits of this research it has been established that the amount of precipitation on the territory is characterized by variability. For the last decades it has undergone significant changes. In the period of 1961-1970, there was an increase in all stations in the region in the winter and decrease in the autumn (Table 2).

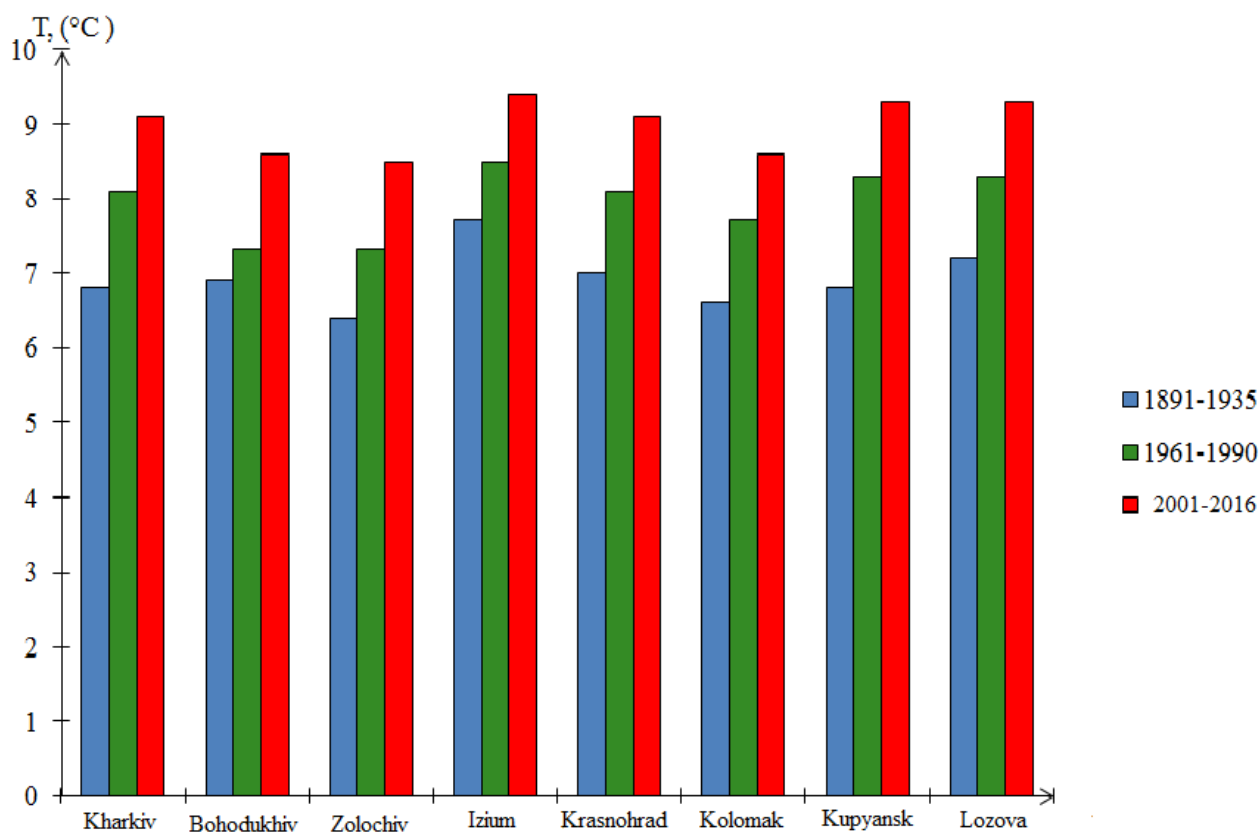


Fig. 3. Dynamics of air temperature on the territory of Kharkiv region (summer)

Table 1

## Maximum wind speed at the stations

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bohodukhiv	10	12	15	10	10	13	10	16	11	9	15	12
Velykyi Burlyk	11	14	14	12	11	14	12	14	11	12	16	14
Zolochiv	8	9	10	10	9	8	8	8	9	7	10	10
Iziium	9	12	10	10	8	8	10	8	8	10	10	11
Kolomak	10	12	11	12	11	9	9	10	10	10	12	17
Krasnohrad	8	10	9	8	9	8	6	9	8	7	11	10
Kupyansk	9	15	14	10	8	10	10	13	10	10	10	11
Lozova	13	16	15	13	11	10	10	13	10	11	19	16
Kharkiv	15	13	13	15	13	13	11	11	11	10	15	12

For the winter period there is a tendency towards decreasing atmospheric precipitation by 1-12 mm. Only at stations Kupiansk and Slobozhanske in the periods 1981-1990, 2001-2010, the amount of precipitation increased by 1-3 mm in accordance with the climatic norm (1961-1990). Spring is characterized by an increase in dryness in April and May at the meteorological station of Kharkiv in comparison with the period of 1961-1990. During the summer months (June, July) precipitation was 6 mm and 1 mm more than norm, and in August - by contrast (by 7 mm). The arid regime was fixed in October. This month, there was 15 mm less precipitation than the climatic norm. Precipitation exceeded the cli-

matic norm in September (by 11 mm) and November (by 4 mm).

Dry conditions were noticed on the territory of the forest-steppe and the steppes of Kharkiv region mainly in the autumn-winter and summer periods, especially in the south and south-east. In the spring (Table 3) there is a tendency to increased precipitation by 3-15 mm. Since 1991, the amount of precipitation has increased by 2-15 mm on the territory of the region. According to the results of the average indicators analysis and probability of rainfall, it has been found that their changes in the region are characterized by a large time variability and are of a cyclic nature (after 2-3 years).



Table 2

Winter monthly rainfall (1961-2016)

Periods	Zolochiv		Bohodukhiv		elykyi Burluk		Kharkiv		Kolomak		Kupiansk		Slobozhanske		Krasnohrad		Izium		Lozova	
	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM
1961-1970	48	+5	53	+11	59	+9	45	+5	59	+10	54	+7	48	+5	60	+13	55	+7	61	+12
1971-1980	38	-5	37	-5	45	-5	37	-3	44	-5	42	-5	36	-7	40	-7	44	-4	43	-6
1981-1990	42	-1	36	-6	47	-3	39	-1	45	-4	44	+3	44	+1	40	-7	46	-4	44	-5
1991-2000	36	-7	34	-8	37	-13	34	-6	39	-10	39	-8	38	-5	36	-11	44	-4	37	-12
2001-2010	41	-2	37	-5	42	-8	38	-2	45	-4	48	+1	46	+3	44	-3	48	0	41	-8
2011-2016	43	0	40	-2	42	-8	39	-1	45	-4	47	0	43	0	44	-3	45	-3	39	-10
Norm	43		42		50		40		49		47		43		47		48		49	

It can be noted that rainfall distribution is uneven on the territory by the seasons and in separate months. There are significant fluctuations in precipitation amplitude from year to year, most noticeable in summer and winter. In the course of the month

the variability of precipitation remains significant, confirming the probability of rainfalls.

The tendency of changes to increase the average temperature of air, which affects the state of plants, provokes early flowering and early leaf loss.

Table 3

Spring monthly rainfall (1961-2016)

Period	Zolochiv		Bohodukhiv		Velykyi Burluk		Kharkiv		Kolomak		Kupiansk		Slobozhanske		Krasnohrad		Izium I		Lozova	
	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM	U, MM	Δ U, MM
1961-1970	39	+1	37	+1	45	+2	37	+1	41	+1	40	0	34	-3	38	-3	43	+1	42	0
1971-1980	38	0	44	+6	45	+2	41	+3	46	+4	44	+4	38	+1	45	+4	46	+4	49	+7
1981-1990	38	0	33	-5	39	-4	37	+1	39	+3	35	-5	39	+2	39	-2	36	-6	35	-7
1991-2000	45	+7	48	+10	45	+2	42	+4	48	+6	48	+8	51	+14	50	+9	51	+9	48	+6
2001-2010	43	+5	41	+3	37	-6	37	+1	45	+3	39	-1	39	+2	43	+2	43	+1	40	-2
2011-2016	43	+5	44	+6	46	+3	43	+5	53	+11	48	+8	45	+8	53	+12	45	+3	57	+15
Norm	38		38		43		38		42		40		37		41		42		42	

Due to the spring frosts and absence of pollinating insects, early flowering has a negative effect. There may also be a re-development to which plants are not adapted. The response of plants to climate change is their migration, adaptation and disappearance. Migration changes habitats of plant species, prompting the resettlement of invasive species that displace aboriginal ones. Among them weeds, allergenic plants are especially dangerous. Characteristic are anthropogenic obstacles to migration, especially significant cultivation. Adaptation means gradual adjustment to new environmental conditions. Instead of perennials, annual weeds like plants with a short development cycle, develop [10].

Such changes reduce the energy potential of the biosphere, affect the resources, upsets the supply chains of individual consumers and lead to their extinction. Processes are intensified by the specifics of natural territorial complexes transformation as a result of farming. Disappearance of natural ecosystems is accompanied by death of plant and animal species and biodiversity degradation. Harmful meteorological phenomena have a negative impact on the socio-economic development of the region, reducing crop yields, promoting degradation of soils and depressingly affecting vegetation.

**Conclusions.** On the basis of the conducted research we have determined the processes influencing climate transformation of Kharkiv region. This

makes it possible to construct models for forecasting air temperature and humidity, cloudiness and other meteorological parameters. The air temperature reduces with height, but the reason for its increase can be energy income from external airflows during transformation of air masses. Average air temperature of the surface layer of the atmosphere varies with a speed that goes beyond natural cyclical fluctuations. There is a general tendency towards directed climate change, the so-called "global warming" which threatens natural landscapes, violating and degrading them.

Research on climate change, analysis of the state and transformation of landscapes, identification of factors and potential anthropogenic hazards makes it possible to recognize peculiarities of climatic changes on the territory of Kharkiv region. Optimal management of nature can be successfully implemented in the event of compliance with the levels of the landscape structure: forest-steppe, steppe within Kharkiv region. Study of climate change indicators simplifies data interpretation, helps to identify irrational approaches to environmental management and formation of natural and economic systems. Modern specialization of doing business in the region is not optimal as to the natural conditions, but in many cases is devastating for natural landscapes.

#### References

1. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. – Режим доступу: [http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee\\_files/idmp-cee/idmpagroclimatic.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmpagroclimatic.pdf)
2. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – Л.: Географгиз, 1926. – с.139.
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. – № 7. – Одеса: ТЕС, 2010. – С.54-61.
4. Гонченко Е.Д. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Е.Д. Гонченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. – Киев: Институт гидробиологии НАН Украины. – Т. 36. – № 3. – 2000. – С. 67-78.
5. Гребенюк Н.П. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. / Н.П. Гребенюк, Т.В. Корж, О.О. Яценко // Водне господарство України. – 2002. – № 5-6. – С. 34-45.
6. Денисик Г.І. Антропогенні ландшафти Правобережної України: монографія / Г.І. Денисик. – Вінниця: Арбат, 1998. – 292 с.
7. Клімат України /за ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – К.: Вид. Равського, 2003. – 343с.
8. Заболоцька Т.М. Небезпечно сильні опади над територією України і можливі причини їх утворення / Т.М. Заболоцька, В.М. Підгурська, Т.М. Шпиталь // Наук. праці Укр.наук.-дослід.гідрометеорологічного ін.-ту. – 2006. – Вип. 255. – С. 21-25.
9. Клімат і загальна циркуляція атмосфери: Навчальний посібник / Л.Д. Гончарова, Е.М. Серга, Є.П. Шкільний. – Київ: КНТ, 2005. – 251 с.
10. Лаврик, О.Д. Ідентифікація стадій розвитку ландшафтно-технічних систем/ О.Д. Лаврик // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія:«Геологія. Географія. Екологія». – 2017. – Вип.46. – С. 101–105.
11. Поліщук Л.Б. Інтерактивна карта: Охорона природи Харківської області / В.С. Попов, Ю.К. Бурдун, О.О. Карасьов, А.І.Янченко // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. - Вип. 21. – С.18-21. ScanEx Web GeoMixer: Охорона природи Харківської області [Електронний ресурс]/Режим доступу :<http://maps.kosmosnimki.ru/api/index.html?33655009DAAD43C18AFD0ED7B2898D4> <http://goik.univer.kharkov.ua/archive/> вільний.

12. *Поліщук Л.Б. Природні та антропогенні ландшафти як складова знань про довкілля / А.А. Мороз, Р.В. Кравченко // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Вип. 28. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. – С. 61-67. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://goik.univer.kharkov.ua/archive/issue-28/>*
13. *Ретеюм А.Ю. Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы / А.Ю. Ретеюм, К.Н. Дьяконов, Л.Ф. Куницын// Известия АН СССР. Серия географическая. – 1972. – № 4. – С. 46–55.*
14. *Решетченко С.І. Зміна температурного режиму на території Харківської області / С.І. Решетченко, Т.Г. Ткаченко, О.Г. Лисенко // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія: геологія, географія, екологія. – 2015. – Вип. 43. – С. 153-158.*
15. *Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 7 грудня 2016 р. – № 932. – Режим доступу: <http://www.kmi.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>*
16. *Руденко В.П. Критичний екологічний стан компонентів природи в регіонах України // Український географічний журнал. – 2010. – № 2. – С. 60-68.*
17. *Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 р. – Київ, 2017. – 53с.*
18. *Стратегія розвитку Харківської області на період до 2020 року [Текст] // Харківська обласна державна адміністрація [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://old.kharkivoda.gov.ua/documents/16203/1088.pdf>*
19. *Суздалева А.Л. Управляемые природно-технические системы энергетических и иных объектов как основа обеспечения техногенной безопасности и охраны окружающей среды (темы магистерских диссертаций): учеб. пособ. / А.Л. Суздалева–М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2015. –160 с.*
20. *Швиденко А.З. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: монографія / А. Швиденко, П. Лакида, Д. Щепаченко, Р. Василюшин, Ю.Марчук. – Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В.М., 2014. – 283 с.*
21. *Шосте національне повідомлення України з питань зміни клімату. – 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)*
22. *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.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.*
23. *NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system /A.F. Stein, R.R. Draxler, G.D. Rolph etc// Bull. Amer. Meteor. Soc. –2015. – № 96. –pp. 2059-2077.*

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

UDC 911.3

***Liydmila Polishchuk,***

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: [l.polischuk@physgeo.com](mailto:l.polischuk@physgeo.com), <https://orcid.org/0000-0001-9887-9524>;

***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,  
e-mail: [swet\\_res@meta.ua](mailto:swet_res@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

***Nadyia 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>

## **IDENTIFICATION OF CLIMATE CHANGES BASED ON ANTROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDSCAPES**

**Formulation of the problem.** Functioning of natural geosystems is aimed at preserving their structure, but economic activity leads to imbalances, decreases in order, loss of internal organization and the inability to maintain the necessary stabilization.

**Analysis of previous research.** Studies of the last decades have shown that the climatic conditions of Ukraine can be unfavorable for the life and economic activity of the society.

**Problems of further research.** To find the solution to the problem of preserving the ability of the biosphere to self-regulation, self-restoration by optimizing anthropogenic load on natural systems is very important. Identification of climate change factors is aimed at finding the most active sources of environmental impact in order to determine the real threat of global climate change.

**The purpose** of the research is to determine the causes, areas of initial formation, further development of negative meteorological processes and phenomena on the territory of Kharkiv region during the last decades and to study parameters and causes of air masses transformation, changes in their properties and various resistance to anthropogenic impact.

**Research methods** are observation with the help of various devices and technical means. An integrated approach using field-based observations and technology of climatic series analysis with the help of statistical methods for climate information processing, characterized by high accuracy, allow us to determine their spatial-temporal features and future projections to the natural environment.

**Presentation of the main research material.** Optimal strategic socio-economic development of the regions requires identification of specific links between natural and socio-economic entities, as well as studying large-scale and profound by the consequences violations of the ecosystem at the planetary level - the biosphere and its components. There is a general tendency towards directed climate change, the so-called "global warming", which threatens natural landscapes, upsetting and destroying them.

**Practical value.** There are causal relationships between climatogenic changes, influence of human activity and the reaction of landscapes to them. This is manifested in creation of a variety of transformed landscapes (agrarian, residential, industrial). The consequence of anthropogenic transformations is the change in the parameters and characteristics of the components of nature.

**Research results.** Indicators are the basis for information blocks concerning decision-making in the areas of socio-economic development. Climate parameters of a certain territory may differ from zonal ones and in combination with anthropogenic transformation affect the general condition of the landscapes, lead to the intensification of adverse hydrometeorological and exogenous geodynamic processes and phenomena (erosion, deluvial processes, landslides, suffusion, deflation, flooding).

**Keywords:** atmosphere, biodiversity, biosphere, hydrometeorological processes, indicators of change, climate, natural landscapes, landscape transformation, ecosystems.

#### References

1. Adamenko, T.I. Agro-climatic zone zoning of Ukraine taking into account climate change. Available at: [http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee\\_files/idmp-cee/idmpagroclimatic.Pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmpagroclimatic.Pdf). [in Ukrainian]
2. Vernadskij, V.I. (1926). *Biosphere*. L.: Geografiz, 139. [in Russian]
3. Goncharova, L.D., Reshetchenko, S.I. (2010). Impact of the North Atlantic on air temperature, precipitation, atmospheric pressure on the left-bank Ukraine. *Ukrayins'kyj gidrometeorologichnyj zhurnal*, 7, 54-61. [in Ukrainian]
4. Gopchenko, E.D. Loboda, N.S. (2000). Assessment of possible changes in water resources of Ukraine in the context of global warming. Kiev: Institut gidrobiologii NAN Ukrainy, 36 (3), 67-78. [in Russian]
5. Grebenyuk, N.P., Korzh, T.V., Yacenko, O.O. (2002). New on the changes in the global and regional climate in Ukraine at the beginning of the XXI century. *Vodne gospodarstvo Ukrayiny*, 5-6, 34-45. [in Ukrainian]
6. Deny'sy`k, G.I. (1989). Anthropogenic landscapes of the Right-Bank Ukraine. *Vinny`cya: Ar-bat*, 292. [in Russian]
7. Lipins`kogo, V.M., et. al. (2003). *The climate of Ukraine*. K.: Vy`d. Rayevs`kogo, 343. [in Ukrainian]
8. Zabolocz`ka, T.M., Pidgurs`ka, V.M., Shpy`tal,` T.M. (2006). Hazardous heavy precipitation over the territory of Ukraine and possible causes of their formation. *Nauk. praci Ukr.nauk.-doslid.gidrometeorologichnogo in.-tu*, 255, 21-25. [in Ukrainian]
9. Goncharova, L.D., et. al. (2005). *The climate and the general circulation of the atmosphere*. Ky`yiv: KNT, 251. [in Ukrainian]
10. Lavry`k, O.D. (2017). Identification of stages of development of landscape-technical systems. *Visny`k Xar-kivs`kogo nacional`nogo universy`tetu imeni V.N. Karazina. Seriya: Geologiya. Geografiya. Ekologiya*, 46, 101-105. [in Ukrainian]
11. Polishhuk, L.B., Popov, V.S., Burdun, Yu.K., Karas`ov, O.O. (2015). Interactive map: Nature conservation in the Kharkiv region. *Problemy` bezperervnoyi geografichnoyi osvity` i kartografiyi: Zbirny`k naukovy`x pracz`*, Xarkiv, 21, 18-21. Available at: <http://maps.kosmosnimki.ru/api/index.html?33655009DAAD43C18AFD0ED7B2898D4> <http://goik.univer.kharkov.ua/archive/vil`ny`j>. [in Ukrainian]
12. Polishhuk, L.B., Moroz, A. A., Kravchenko, R.V. (2018). Natural and anthropogenic landscapes as a component of environmental knowledge. *Problemy` bezperervnoyi geografichnoyi osvity` i kartografiyi, Zbirny`k naukovy`x pracz`*, 28, 61-67. Available at: <http://goik.univer.kharkov.ua/archive/issue-28>. [in Ukrainian]
13. Reteyum, A.YU., D'yakonov, K.N., Kunicyn, L.F. (1972). Interaction technology with nature and geotechnical systems. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*, 4, 46-55. [in Russian]
14. Reshetchenko, S.I., Tkachenko, T.G., Ly`senko, O.G. (2015). Changing the temperature regime in the Kharkiv region]. *Visny`k Xarkivs`kogo nacional`nogo universy`tetu im. V.N. Karazina. Seriya: geologiya, geografiya, ekologiya*, 43, 153-158. [in Ukrainian]
15. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny` «Pro sxvalennya Konceptiyi realizaciyi derzhavnoyi polityky` u sferi zminy` klimatu na period do 2030 roku» vid 7 grudnya 2016 r. № 932. [Order of the Cabinet of Ministers of

- Ukraine «On Approval of the Concept of Implementation of the State Policy in the Field of Climate Change for the Period until 2030»]. Available at: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>. [in Ukrainian]
16. Rudenko, V.P. (2010). *The critical ecological state of the components of nature in the regions of Ukraine. Ukrayins'kyj geografichnyj zhurnal*, 2, 60-68. [in Ukrainian]
  17. *Strategy of low carbon development of Ukraine up to 2050. (2017).. Ky'yiv*, 53. [in Ukrainian]
  18. *Strategy for the development of the Kharkiv region up to 2020. Xarkivs'ka oblasna derzhavna administraciya. Available at: <http://old.kharkivoda.gov.ua/documents/16203/1088.pdf>. [in Ukrainian]*
  19. Suzdaleva, A.L. (2015). *Managed natural-technical systems of energy and other objects as a basis for ensuring technological safety and environmental protection. M.: ID EHNERGIYA*, 160. [ in Russian]
  20. Shvy`denko, A.Z., Laky`da, P., Shhepashhenko, D. (2014). *Carbon, Climate and Land Management in Ukraine: Forest Sector: Monograph. Korsun`-Shevchenkivs`kyj: FOP Gavry`shenko V.M.*, 283. [in Ukrainian]
  21. *The sixth national report of Ukraine on climate change*. Available at: [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]
  22. *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.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*, 151.
  23. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D. (2015). *NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077.



# ЕКОЛОГІЯ

UDC: 911+378:502/504

**Nadiya Vasylivna Maksymenko,**

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor,  
Department of Environmental Monitoring and Nature Management, School of Ecology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [nadezdav08@gmail.com](mailto:nadezdav08@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>;

**Ganna Valeriivna Titenko,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Dean of School of Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [titenko555@gmail.com](mailto:titenko555@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8477-0672>;

**Kateryna Bogdanivna Utkina,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecological Safety and Environmental Education,  
School of Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [ecointernational@karazin.ua](mailto:ecointernational@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0632-1273>;

**Alla Naumivna Nekos,**

Doctor of Sciences (Geography), Full Professor,  
Head of the Department of Ecological Safety and Environmental Education, School of Ecology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

**Anton Dmytrovich Shkaruba,**

PhD (Geography), Senior Researcher,  
Department of Landscape Management and Nature Conservation, Estonian University of Life Sciences,  
5 Kreutzwaldi, Tartu, 51014, Estonia,  
e-mail: [anton@mespom.eu](mailto:anton@mespom.eu), <https://orcid.org/0000-0003-2536-2123>

## SOLVING CURRENT ENVIRONMENTAL PROBLEMS BY HARMONIZATION OF DOCTORAL PROGRAMS WITH EUROPEAN STANDARDS

**Н. В. Максименко, Г. В. Тітенко, К. Б. Уткіна, А. Н. Некос, А. Д. Шкарубо. ВИРІШЕННЯ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЇ ШЛЯХОМ ГАРМОНІЗАЦІЇ ДОКТОРСЬКИХ ПРОГРАМ З ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СТАНДАРТАМИ.** На теперішній час в Україні актуальність екологічних проблем постійно зростає. Запорукою комплексного та ефективного їх вирішення є використання сучасних підходів, що може бути виражене через гармонізацію із найкращими світовими практиками. При комплексному підході підготовка фахівці вищої кваліфікації є важливою складовою. Наразі в Україні вона здійснюється за 4 спеціальностями екологічного спрямування: 03.00.16- Екологія, 08.00.06 - Економіка природокористування та охорона навколишнього середовища, 11.00.11 - Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів та 21.06.01- Екологічна безпека. Окрім того ще у 15 спеціальностях Переліку 2011 року розглядаються певні питання екології. Проблема «розпорошення» екологічних питань по різних спеціальностях різних галузей знань не просто залишилась, а і зростає, оскільки кількість останніх збільшилась. Ця ситуація викликає у науковій спільноті занепокоєння.

Стаття містить результати дослідження думки фахівців, що здійснюють підготовку кадрів вищої кваліфікації в Україні за спеціальностями екологічного спрямування. Мета дослідження - з'ясування проблем, що є у національній системі підготовки аспірантів за спеціальностями екологічного спрямування і захисту ними дисертацій згідно сучасних вимог, та пошук шляхів покращення цієї ситуації, спираючись на світовий досвід. Методичною основою роботи є опитування шляхом анкетування та його статистичний аналіз, проведене у рамках реалізації Проекту Erasmus+ «Комплексна докторська програма з екологічної політики, менеджменту природокористування та техноекології – INTENSE», 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-SVHE-JP. Отримані результати показали існування проблем організаційного і наукового характеру. Важливою проблемою названа відсутність у оновленому переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, у т.ч. докторів філософії («Перелік 2015») окремо кваліфікації з екологічних наук - PhD (Екологія). Проблемами наукового характеру названо спрошення глибини наукових досліджень, низький рівень застосування новітніх технологій, неузгодженість тематики із потребами суспільства, відсутність співставлень зі світовим досвідом дослідження тих же проблем тощо. До організаційного блоку віднесено: низьке матеріально-технічне забезпечення, відсутність можливості закордонного стажування аспірантів, низький рівень мовної підготовки, проблеми з опублікуванням у рейтингових журналах та очною презентацією дослідження на міжнародних конференціях тощо.

**Ключові слова:** національна рамка кваліфікації, аспірант, спеціальність, екологічні науки, проблеми, менеджмент природокористування, екологічна політика, техноекологія.

**Н. В. Максименко, А. В. Тітенко, Е. Б. Уткіна, А. Н. Некос, А. Д. Шкарубо. РЕШЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ ПУТЕМ ГАРМОНИЗАЦИИ ДОКТОРСКИХ ПРОГРАММ С ЕВРОПЕЙСКИМИ СТАНДАРТАМИ. В**

*настоящее время в Украине актуальность экологических проблем постоянно растет. Залогом комплексного и эффективно их решения является использование современных подходов, может быть выражено через гармонизацию с лучшими мировыми практиками. При комплексном подходе подготовка специалистов высшей квалификации является важной составляющей. Сейчас в Украине она осуществляется по 4 специальностям экологической направленности: 03.00.16- Экология, 08.00.06 - Экономика природопользования и охрана окружающей среды, 11.00.11 - Конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов и 21.06.01- Экологическая безопасность. Кроме того еще в 15 специальностях Перечня 2011 рассматриваются некоторые вопросы экологии. Проблема «распыления» экологических вопросов по различным специальностям различных отраслей знаний не просто осталась, а и выросла, так как количество последних увеличилось. Эта ситуация вызывает у научного сообщества беспокойство.*

*Статья содержит результаты исследования мнения специалистов, осуществляющих подготовку кадров высшей квалификации в Украине по специальностям экологической направленности. Цель исследования - выяснение проблем в национальной системе подготовки аспирантов по специальностям экологической направленности и защиты ими диссертаций в соответствии с современными требованиями и поиск путей улучшения этой ситуации, опираясь на мировой опыт. Методической основой работы является опрос путем анкетирования и его статистический анализ, проведенный в рамках реализации проекта Erasmus + "Комплексная докторская программа по экологической политике, менеджменту природопользования и техноэкологии - INTENSE», 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-SBHE- JP. Полученные результаты показали существование проблем организационного и научного характера. Важной проблемой названо отсутствие в обновленном перечне отраслей знаний и специальностей, по которым осуществляется подготовка соискателей высшего образования, в т.ч. докторов философии («Перечень 2015») отдельной квалификации по экологическим наукам - PhD (Экология). Проблемами научного характера названо упрощение глубины научных исследований, низкий уровень применения новейших технологий, несогласованность тематики с потребностями общества, отсутствие сопоставлений с мировым опытом исследования тех же проблем и т. п. В организационный блок отнесены: низкое материально-техническое обеспечение, отсутствие возможности стажировок аспирантов, низкий уровень языковой подготовки, проблемы с опубликованием в рейтинговых журналах, очной презентацией исследования на международных конференциях и т.п.*

***Ключевые слова:** национальная рамка квалификаций, аспирант, специальность, экологические науки, проблемы, менеджмент природопользования, экологическая политика, техноэкология.*

**Introduction.** Today, environmental problems in Ukraine can be considered as dangerous and their solution needs much attention and implementation of complex actions and measures. Introduction of advanced approaches and techniques can be identified as the basis for such an approach for effective solution to the existing problems. It can be translated and implemented into best world practices. Training of specialists is a key part of the integrated approach. At present one of the tools and examples of the training system harmonisation is ERASMUS+ project «Integrated Doctoral Program for Environmental Policy, Management and Technology – INTENSE» (2017-2020, Erasmus + Capacity Building in the field of higher education project (K2)). It addresses such root causes of environmental problems in Mongolia (MN), Ukraine (UA) and Vietnam (VN) as poorly formulated policies, inadequate selection of management actions and lack of suitable technology. The capacity for academic excellence in doctoral training in environmental studies in PCs (and beyond) is being built. Its aims are the following:

1) to improve the practice of doctoral training and professionalise its governance by integrating PhD programs. These programs deal with environmental policy, management and technology in 7 PCIs to 3 nationwide integrated doctoral schools (INTENSE NIDS). They are based on common Code of Operational Practices & research framework (COP & RF), consolidating these schools into the INTENSE International Network;

2) to enhance doctoral training by integrating and upgrading existing learning contents. These can

be used for doctoral provision (total 80 ECTS by M36), infrastructure for accessing the courses, setting & monitoring flexible research training trajectories and their progression. This is INTENSE open education platform, including sustainable mechanisms for its development and maintenance and shared access to research facilities;

3) INTENSE will offer PhD students customized training trajectories and options to enrol on the courses, which will contribute to the progression of PhD theses. The IT infrastructure will provide access to the e-courses (including MOOCs) collected from all the PCIs belonging to INTENSE. These will include the full range of disciplinary fields related to environmental policy, management and technology, as well as eScience modules creating individual learning portfolio;

4) to build the capacity of PhD students to improve their published output through a strengthened multidisciplinary approach to doctoral training. This will be aided by facilitating access to global and EU research networks (including facilitation of academic mobility), development of transferable skills, promotion of joint research / supervision arrangements & interdisciplinary & practice-oriented thesis topics.

**Analysis of previous studies and publications.** In accordance with the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated September 14, 2011, No. 1057 “On Approval of the List of Scientific Specialties” [1] (“List 2011”), training of research and academic personnel during doctoral and postgraduate studies is performed in 27 branches of science and within them in 541 specialties.

Among them, the environment-oriented ones are the following: 03.00.16 – Environmental Sciences (Life Sciences, Agrarian Sciences and Medicine), 08.00.06 – Economics of Environmental Resources Management (Economics), 11.00.11 – Constructive Geography and Wise Use of Natural Resources (Geographic Sciences) and 21.06.01 – Environmental Safety (Engineering and Industrial Technology Sciences, Chemistry and Geology).

In addition, a number of aspects of modern ecology, environmental protection, conservation and sustainable nature management are within the scope of such specialties on the “List 2011” as follows:

03.00.17 – Aquatic Biology (Life Sciences); 03.00.20 – Biotechnology (Life, Engineering and Agricultural Sciences); 04.00.07 – (Geo-engineering); 05.11.13 – Devices and Methods for Monitoring and Determining Composition of Substances (Engineering and Industrial Technology Sciences); 05.22.01 – Transportation Systems (Engineering and Industrial Technology Sciences); 05.23.20 – Urban Development and Land Planning (Engineering and Industrial Technology Sciences); 05.26.01 – Occupational Safety (Engineering and Industrial Technology Sciences); 06.01.04 – Agro-chemistry (Agriculture); 11.00.01 – Physical Geography, Geophysics and Landscape Geochemistry (Geographic Sciences); 11.00.02 – Economic and Human Geography (Geographic Sciences); 11.00.05 – Biogeography and Soil Geography (Geographic Sciences); 11.00.07 – Hydrology of Land, Water Resources, Water Chemistry (Geographic Sciences); 11.00.08 – Oceanology (Geographic Sciences); 11.00.09 – Meteorology, Climatology, Agricultural Meteorology (Geographic Sciences); 21.02.03 – Civil Defence (Chemistry, Biology, Engineering and Industrial Technology Sciences, Medicine, Warfare Studies, Veterinary), etc.

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 266, dated April 29, 2015, “On approval of the list of branches of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained” [2] (“List 2015”) replaced “List 2011”. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1151, dated November 6, 2015, “On the peculiarities of introducing the list of branches of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained” [3], the table of compliance of the List of scientific specialties (“List 2011” and List of areas of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained, including PhDs (“List 2015”) [2] was approved.

At the same time, up to the present day, theses have been defended according to the “List 2011”. The problem of “dissemination” of environmental issues among various specialties in various branches

of knowledge not only remained, but also grew up, as the number of the latter increased. This situation is of concern to the scientific community.

**The purpose of the article** is to clarify the problems in the national system of postgraduate students’ training in environment-oriented specialties and defending their theses in accordance with modern requirements, finding ways to improve this situation, based on international experience.

**Methods.** As part of the implementation of project Erasmus + “Integrated Doctoral Program for Environmental Policy, Management and Technology - INTENSE”, 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP, an anonymous survey of leading scientists engaged in post-graduate training and performing research work in the field of the environment was used. The questionnaire was developed by Odessa State Environmental University and the survey covered institutions of higher education in almost all regional centres of Ukraine, as well as the cities of Uman and Kremenchuk. It should be noted that such cities as Kharkiv, Lviv, Kyiv, Dnipro, Vinnytsia, Poltava and Uman were represented by several universities. The rest of the regions were represented by the respondents of one institution of higher education.

Due to certain “dispersion” of the content-relative aspects of environmental sciences among various postgraduate programmes, the questionnaire was answered by scientists from various fields, among which representatives of geography dominated (44%). A quarter of respondents were Doctors or Candidates of Technical sciences, 19% were representatives of agricultural sciences and 6% were from pedagogical and physical and mathematical sciences, respectively.

Since postgraduate students are trained both by higher education institutions and research institutions, 81% of respondents are academic employees from universities and 19% are academic employees from research institutes.

The questionnaire contains the following questions:

1. What are the most important, in your opinion, gaps in doctoral studies in general?

2. What are the specific issues of research training in the field of environmental management, policy and technology?

3. What are the most important measures that can be taken, under the existing framework conditions, in order to improve the organisation and contents of doctoral studies?

4. In your opinion, is quality of PhD thesis/dissertation in environmental studies improving or declining? If it is declining, then please, briefly explain your point.

5. Do you recognise any major issues with the quality assurance in the process of doctoral training? Could you list the criteria / indicators that can be used in order to evaluate doctoral training?

6. Do you recognise any problems in organisation, quality and/or contents of training currently offered to PhD students?

7. Is there anything that can be done under the existing framework conditions, in order to improve the organisation, quality and/or contents of training currently offered to PhD students?

8. Any subject-related or general skills the PhD students and graduates are missing in order to make successful research careers and/or to complete their theses?

9. What forms of cooperation between PhD awarding (or providing doctoral training) institutions would improve the quality of doctoral studies at your institution and nationwide? In particular, in terms of:

- quality, contents and relevance of PhD courses
- joint research, supervision, publications and/or use of equipment and/or experimental facilities
- virtual and physical mobility of PhD students
- quality assurance and peer review
- networking, knowledge and data exchange

10. If doctoral training (including education and quality assurance) was provided and/or coordinated by a nationwide organisation (e.g. the doctoral school in environmental studies), what services would this organisation be expected to deliver?

11. How would you define the subject scope of a doctoral school in environmental management, policy and technology? (determine key subjects / key words).

**Results.** Answers to **Question 1**, “What are the most important, in your opinion, gaps in the doctoral studies in general?” identified a wide range of problems that can be combined into 7 groups (Fig. 1).

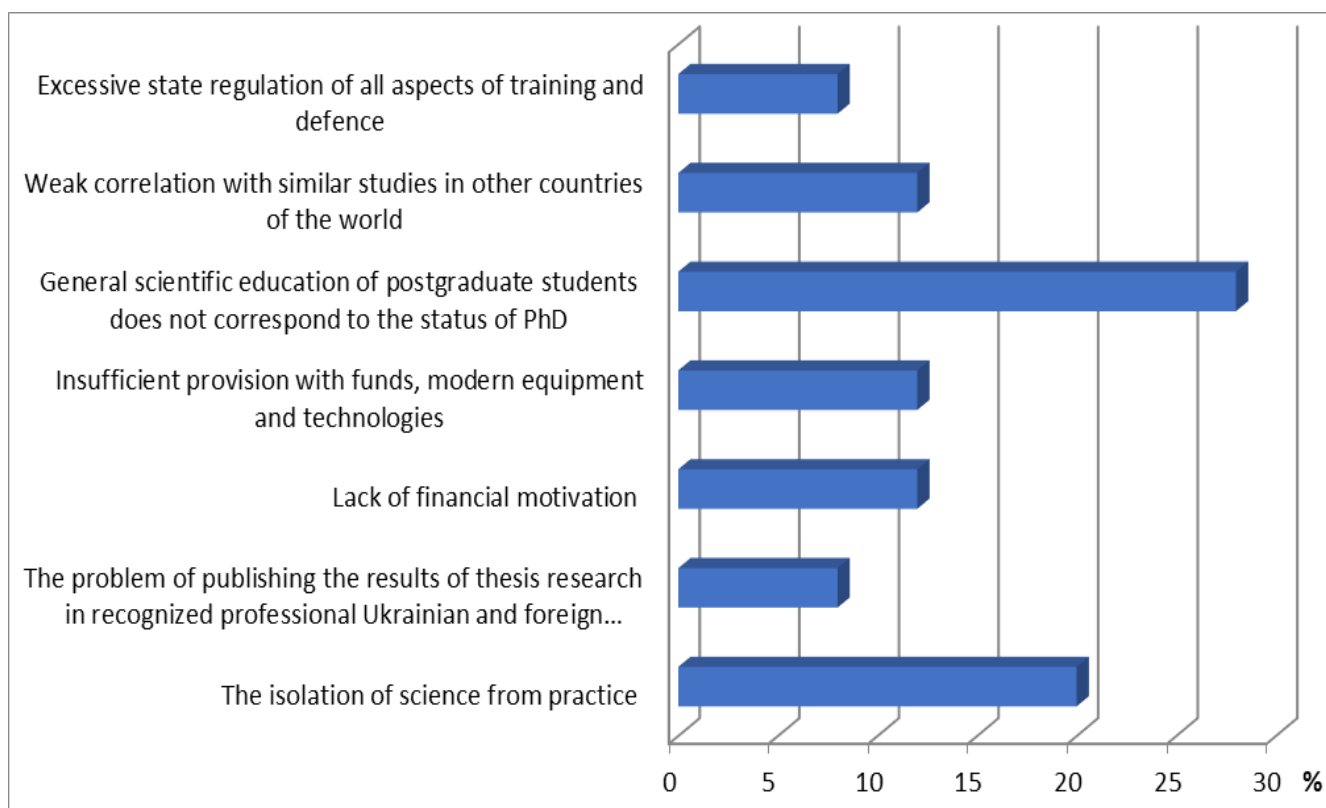


Fig. 1. Variation of answers to Question 1  
 «In your opinion, what are the most important, gaps in the doctoral studies in general? »

Most often, the responses include various interpretations of the thesis “general scientific education of postgraduates does not correspond to the PhD status”. It is noted that the new training form of Doctors of Philosophy and Doctors of Science has just begun to act in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 261 dated March 03, 2016. [4]. Therefore, it takes time to im-

plement it. In the meantime, in the absence of a unified concept of the national system for training Doctors of Philosophy in general, it includes very often only the theoretical part, there is no relation to a specific manufacture in the system. In general, respondents note that the scientific level of the degree of Doctor of Philosophy in comparison with the degree of Candidatus Scientiarum requires a deeper

theoretical and methodological preparation of the degree candidate. In particular, the “output” upon completion of the studies should be at a higher conceptual level.

A significant number of respondents pointed out separation of science from practice, lack of interest in research both from graduates [22] and in institutions at various levels, where the main positions are held by people, far from environmental studies and not interested in research and development. In the development of the thesis, it was noted that research results of the theses very rarely reached practitioners, managers or legislators, and mostly remained in libraries or scientific journals. Therefore, postgraduates have no understanding of the practical application of the results. Thus, many of them are demotivated.

Quite often, lack of financial motivation, namely, low postgraduate scholarships and, later, salaries of researchers or lecturers was indicated as an important problem. If you do not work in R&D institutes or universities, you do not get differential for the academic title at all.

Another aspect of the financial component indicated by a number of respondents is lack of resources and funds for research, modern equipment and technologies.

The problem of weak correlation with similar studies performed in other countries of the world, identified by the respondents, in our opinion, is closely related to the problem of publishing the results of dissertation research in recognized professional Ukrainian and foreign journals.

In the eyes of respondents, in general, the State of Ukraine does not clearly define the role and place of Doctors of Philosophy in the National Qualifications Framework and the Classifier of Professions, which causes discrepancy in the preparation of Doctors of Philosophy in specific sciences in accordance with the needs of Ukraine [5, 6]. At the same time, the respondents point out excessive state regulation of all aspects in the preparation and defence of the dissertation and inconsistency with international practice of dissertation defence procedure in permanent specialized scientific councils.

Also, the following is recognized as problems:

– mainly the single model of postgraduate studies (insufficient opportunities for universities and R&D institutions to independently choose the educational model of training Doctors of Philosophy. It could be done, for example, by developing joint postgraduate training programmes among universities and R&D institutions, both domestic and foreign ones);

– inadequate international academic mobility as a mandatory element in training Doctors of Philosophy.

Besides, it has been noted in the questionnaires that the study of this issue in the framework of an international project is really important, since it will allow us to develop a unified concept of the organisation of this process within the countries, participating in the project.

Answers to **Question 2** are expedient to be divided into 6 groups (Fig. 2), fully reflecting the range of opinions.

Most often, the answers in the questionnaires indicate the lack of an adequate modern facilities and equipment for doing research (lack of modern instruments, limited opportunities to carry out laboratory studies of environmental components of selected subjects at the universities, especially field studies, with the aid of portable mobile devices, a disastrous gap in teaching future Doctors of Philosophy the basics of the latest technology, imperfection and obsolescence of measuring equipment and laboratory base).

To resolve these problems without government support is very difficult. Although the respondents consider that the joint implementation of international scientific projects is one of the ways in resolving it.

A significant problem in the training of PhD candidates in the environmental field indicated by the respondents consists in the fact that the subject of modern environmental science is “dispersed” among agrarian, biological, geographical, economic, engineering and technological and medical sciences.

The respondents separately point out a weak connection with the practical activities of scientists, when innovative results obtained during the preparation of dissertations often remain unclaimed, that is, specific applications are absent. In addition, almost in every field of science and technology there are a few Ukrainian professional journals [7] included in international scientometric databases, the publication of research results in which could give a chance for their implementation.

An important problem is to obtain statistical information in the field of environmental studies. Everyone is familiar with the unwillingness of governmental bodies and authorities, controlling and monitoring measurements of the environment, to cooperate with postgraduates, both in terms of information and research. This results in insufficient use of modern information technologies for collecting and processing data necessary for assessing the state of the environment, the consequences of human impact on ecosystems, etc.

A number of respondents note that the listed spheres are not priorities considering the directions of science and technology development in Ukraine for the period up to 2020. The state has not clearly defined the scientific components of environmental



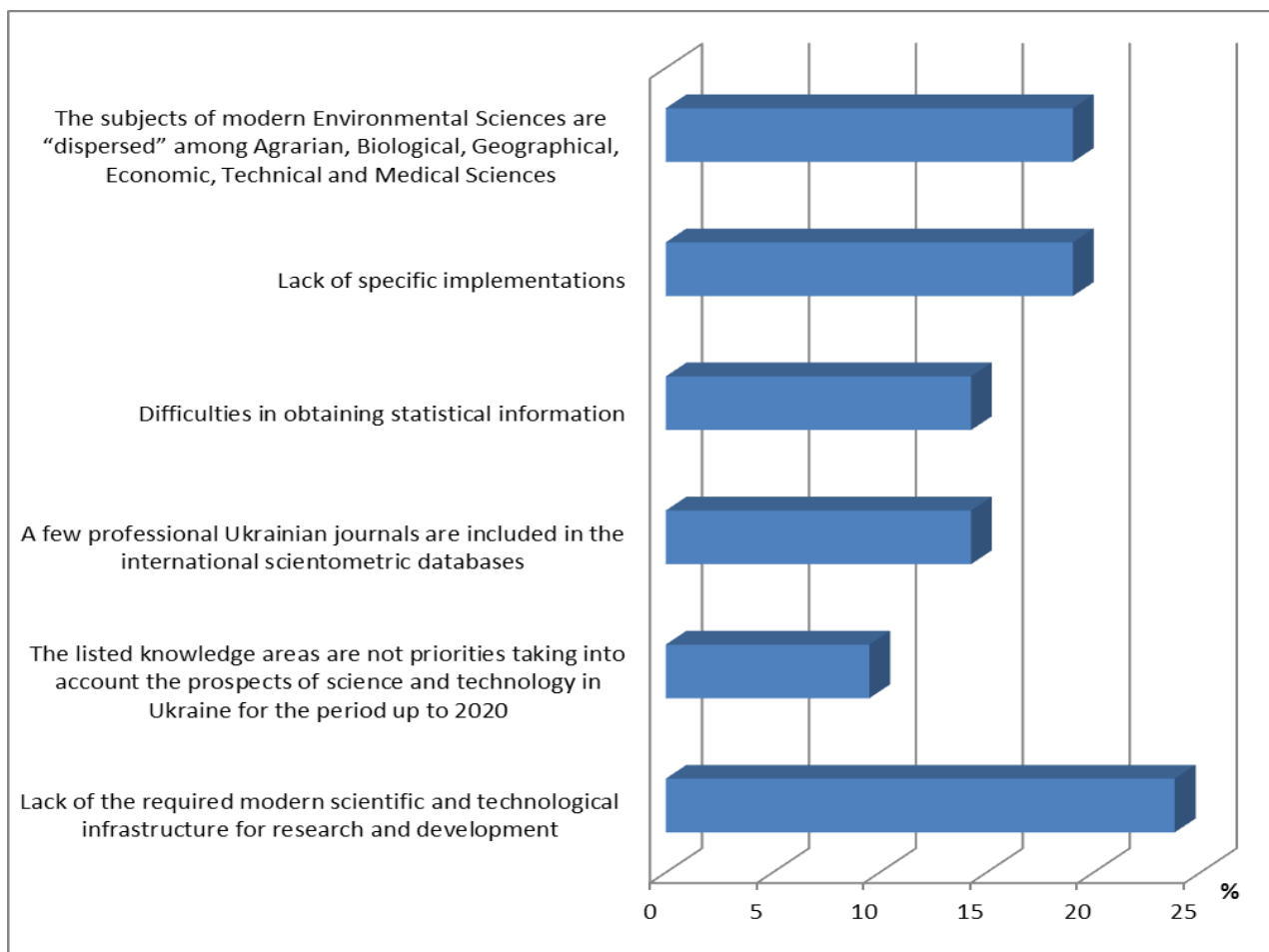


Fig. 2. Variation of answers to Question 2 «What are the specific issues of research training in the field of environmental management, policy and technology?»

management. Accordingly, these spheres are not included in the list of the most important scientific and technological (experimental) developments in the priority areas of the R&D, considering the fulfillment of the state order for the most important R&D (experimental) developments and R&D deliverables.

**Question 3** «What are the most important measures taken under the existing framework conditions in order to improve the organisation and contents of doctoral studies? » also provoked a lively discussion.

The respondents expressed their opinion both on how to improve the training of postgraduates in general and, separately, on environmental issues. Traditionally, the answers are divided into 8 blocks (Fig. 3).

The greatest number of respondents considers the urgent completion of the preparation and approval of national standards for training Doctors of Philosophy according to the main list of specialties of higher education in Ukraine as a key issue in improving postgraduate studies [2, 3]. This includes "Environmental Sciences" and ensures the appropriate quality of educational and scientific programmes

and syllabi for training PhD candidates (improving the list, content and scope of professional courses and interdisciplinary methodological courses).

Preeminently at the level of government management of scientific activities it is proposed to officially document an environmental research area, calling it "Environmental Sciences", in which PhD/Cand. Sci. dissertations and doctoral dissertations are to be prepared.

A special emphasis in the questionnaires is made on the expansion of the content of the educational component of the Doctors of Philosophy training, including mastering of modern international requirements by postgraduates concerning publications and presentation of research results at the international level. Since the postgraduate training involves assimilation of a large base of theoretical knowledge, it would be good to integrate this theoretical knowledge into international theoretical bases. This will make it possible to produce innovations, avoid repeating mistakes and resolve current problems in Ukraine, taking into account wide international experience. Obligatory mastering of a certain amount of credits in other domestic and foreign universities is the keynote.

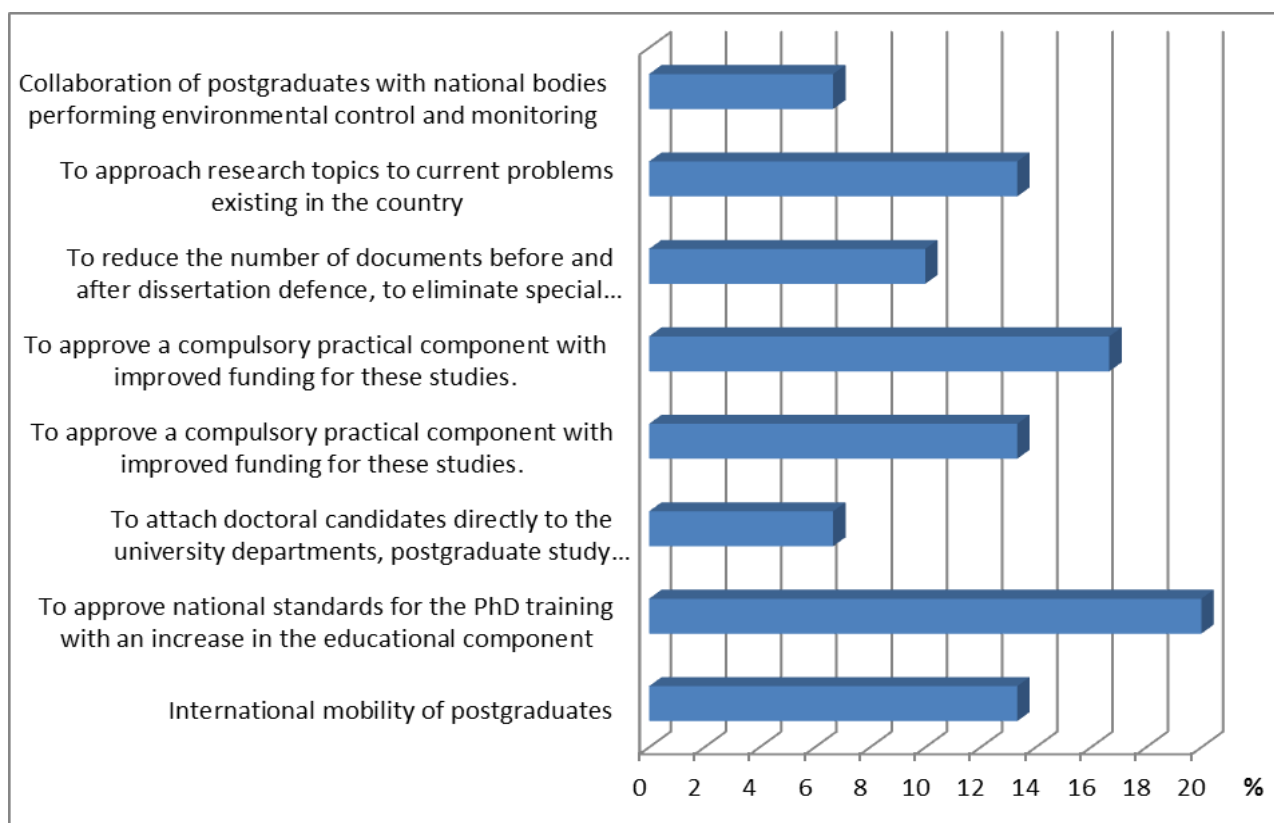


Fig. 3. Variation in answers to Question 3 «What are the most important measures that can be taken under the existing framework conditions in order to improve the organisation and contents of doctoral studies?»

The proposal to involve graduate students into various international programmes is closely related to the previous one. This will contribute to the mobility of undergraduates and postgraduates, helping them to take part in international scientific conferences and take internships in foreign research institutions, etc.

It is also proposed to take into account a practical component in the scientific work through increasing the funding of laboratory and field research of postgraduates. As it has been indicated in the questionnaires, participation of postgraduate students should be expanded in the implementation of governmental and other research programmes so that their investigations were applied in their character [8]. The tasks set by the Ministry of the Environment, departments of environment, state administrations, problem enterprises, etc. should be resolved, i.e. research topics should be closer to the pressing problems existing in the country.

Separately, it is recommended to support the cooperation of postgraduate students with governmental agencies controlling and monitoring the environment, to ensure access to environmental databases/information at all levels (except classified ones, as it is provided by data storage systems), to exchange information on postgraduate research. This is useful not only for postgraduate students, but would help fill the gaps in the governmental

environmental monitoring system and produce a fresh and topical analytical result for stakeholders, increasing the prestige and value of universities as R&D institutions.

The proposals of an organisational nature were allocated in a separate group. First of all, the respondents point to the need to legally state the “basic conditions”. At present, the procedure and mechanism of training and, most importantly, the defence of dissertations of Doctors of Philosophy have not been officially approved. It is necessary to drastically reduce the number of documents prepared before and after the defence. Even the proposal to liquidate the special councils and to execute defences only before 2-3 experts, as practiced in the majority of European countries was expressed.

Quite often the respondents expressed thoughts that doctoral studies should be organised at the departments, and not in such true administrative bodies as postgraduate study divisions. In the form that exists now, postgraduate study divisions are not needed. A postgraduate (full Doctor degree candidate) should be subordinated only to his/her supervisor, and not to the postgraduate study division.

Answers to **Question 4** «In your opinion, is quality of PhD thesis/dissertation in environmental studies improving or declining? If it is declining,

then please, briefly explain your point», received only three options: it improves, it worsens, it remains at the sufficiently high level.

Most respondents agree that, rather, thanks to the heroic efforts of old-school scientists, the quality of candidate dissertations remains at a fairly high level. It all depends on the responsibility of the supervisor of the postgraduate, the PhD candidate himself/herself, the authority of the specialised council. The level of dissertations fluctuates in time, slightly up, a little down, but the average level of works within the period of 10 years remains more or less constant. The level of application of modern scientific equipment and GIS technologies gets behind, but the quality of dissertations meets the requirements of the time and situation in the country. The positive role of the need in international publications of work results is noted.

Supporters of the thesis that the quality of dissertations deteriorates (Fig. 4) are fairly numerous,

too [23]. Explaining their opinions, the authors note that any research is reduced to the environmental one. There are no clear criteria in environmental investigations, the quality criteria of dissertations are not entirely clear judging from the results of environmental studies. Taking into consideration the fact that the overwhelming majority of research in the field of environmental protection is applied investigations, first of all, it is necessary to evaluate the degree (level) of the implementation of environmental research results.

According to this indicator, not all defended dissertations, for example, in the specialty 21.06.01, contain information about the practical implementation of the research results. Lack of environmentalists' practical developments is primarily associated with the catastrophic decline in the number of jobs for environmentalists during recent years.

According to the respondents, some works are not of sufficient quality through simplification of the

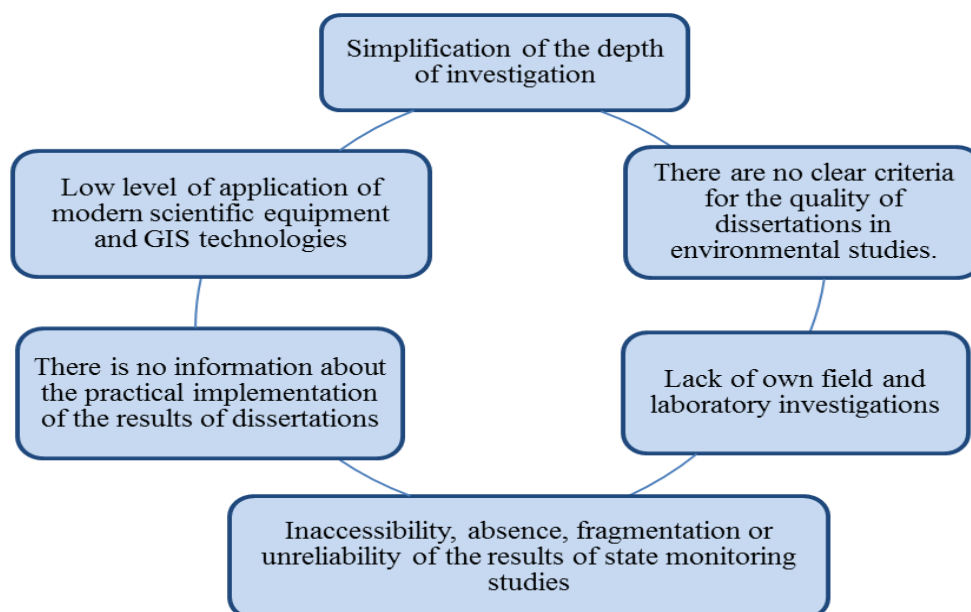


Fig. 4. The reasons for the deterioration in the quality of dissertations in respondents' opinions

depth of scientific research, lack of own laboratory research, including in connection with the outdated laboratory facilities and the lack of modern tools and instruments for the environment study. And the absence of experimental infrastructure is a consequence of the meagre level of funding.

Deterioration in the quality of dissertation work is also associated with inaccessibility, absence, fragmentation or unreliable results obtained by the governmental monitoring agencies.

Answering **Question 5**, «Do you recognise any major quality issues in the process of doctoral training? Could you list the criteria / indicators that can be used in order to evaluate doctoral training? », the

majority of the respondents agreed with the existence of problems and proposed their own list of criteria and indicators.

The groups of existing problems defined through the survey by a questionnaire are shown in Fig. 5 [23].

A number of the respondents believe that it is necessary to apply more often to the standards of higher education, compiled by the best experts in the relevant branches of knowledge. The relevant criteria have already been established and one only needs to get acquainted with the relevant standard of higher education and apply it in practice. According to the standard, knowledge and competences suffi-

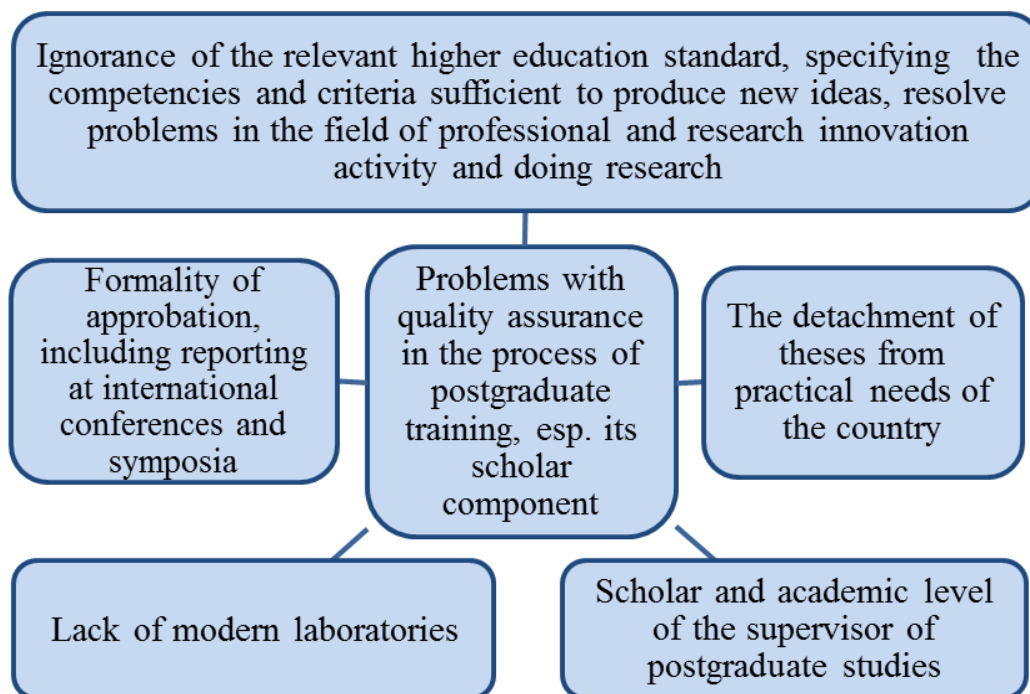


Fig. 5. Problems impairing the quality of postgraduate students' training

ent for producing new ideas are developed from practical activities in the process of resolving complex problems. Our postgraduates mainly gain knowledge and competences in writing scientific papers to acquire theoretical basis, or rather empirical data that do not allow resolving integrated problems in the field of professional activity, including teaching environmental disciplines.

The formality in approbation of the research results is also assigned to the problems, as follows:

- participation in conferences, especially international ones, mostly by correspondence due to the lack of funds for business trips;
- transfer of research results to target institutions/enterprises also does not require feedback;
- publication in high-ranked scientific journals is almost impossible due to outdated laboratory equipment and research techniques unrecognized in Europe, as well as due to extremely high value policies of many publishers.

The problem is often in the fact that the supervisors of the degree candidates do not always possess modern professional knowledge, environmental situation and computer skills when training young scientists.

A long list of criteria that can be used to evaluate the PhD candidates' training has been proposed; they partially repeat the existing ones, but there are many additions.

As noted by the respondents, the only criterion for the quality assessment of scholar training should be a well-worked qualification work (thesis) pre-

pared for the defense in time. Meanwhile, taking into account general scientific competencies that postgraduates should receive during their training according to the educational and scientific programme (ESP), control over the ability to present and discuss their own scientific results should be tightened.

It would be an issue of interest to organise a separate type of scientific conferences, conferences of Doctor of Philosophy degree candidates, separately within the limits of each specialty according to the main list - List 2015. Holding of such events can be entrusted to institutions of higher education in which permanent specialised scientific councils for theses defense will operate.

Also, the respondents note the need to take into account the following:

- number of publications in peer-reviewed journals;
- participation in international scientific conferences;
- participation in international scientific projects;
- at least one published article on the methodology of science.

A number of the respondents consider it necessary to acquire competences in teaching environmental disciplines. Therefore, they propose to introduce the following indicator: implementation of the educational load of 75 - 100 hours per year and make mandatory the candidate exam on the methodology of science.

It was also proposed to simplify the require-

ments and facilitate the procedure for the defence for PhD degree candidates who work on dissertations (and will defend them) in English.

**Question 6** «Do you recognise any issues with the organisation, quality and/or contents of training currently offered to PhD students? » (Fig. 6) was

answered by a fourth of the respondents “No, I do not”. In addition, a number of the respondents do not find their positions because they believe that the implementation of the new form takes time. “We are accustomed to other forms of postgraduate education. What is the best time to tell?”

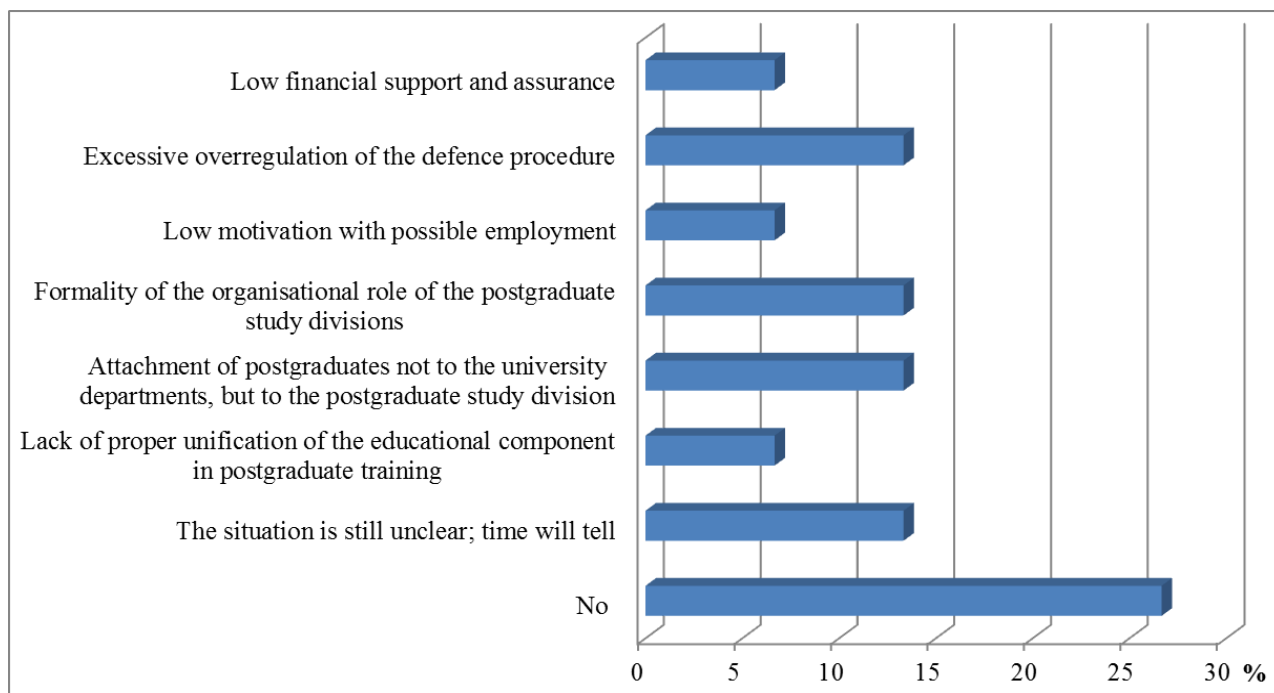


Fig. 6. Variation in answering Question 6 «Do you recognise any issues in the organisation, quality and/or contents of training, currently offered to PhD students?»

The remaining respondents focused almost equally on the following:

- absence of the organising role of the postgraduate study division, which reduces to taking into account the implementation of the programme, organising exams and collecting various reports. In fact, the whole burden of postgraduate training is entrusted only to the postgraduate and his/her supervisor. And the final result depends only on their persistence and perseverance. That is why, in order to improve the quality of training, it is advisable to select the best research supervisors, only Doctors of Science, attach postgraduates to their departments, not to the postgraduate study divisions.
- excessive governmental regulation of all aspects in the preparation and defence of the thesis research, execution of great number of accompanying documents, inconsistencies in the proportion of attention to the scientific value of the research in relation to the documentary support for the thesis defence [8-21] This is especially true for the formal requirements to the number of articles, “5 papers for natural science specialties is too many”. As noted by the respondents, the specific results of scientific

work appear in the third or fourth year of study. This period is characterised by a significant load for the postgraduate: writing the necessary publications, participating in conferences for approving the research results, preparing, completing and executing the dissertation itself. And under regular planning of writing papers, the conclusions of the first one may differ from the results of the last one, or after 4 years the first paper becomes less relevant;

- some of the answers indicate the problem of lack of motivation among future Doctors of Philosophy concerning employment and financial allowance, which makes it impossible or significantly reduces the field or laboratory stages of research.

At the same time, the authors note that “The procedure of training PhD and DSc candidates in higher education institutions (R&D institutions)”, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 261, dated March 23, 2016 [4], provided for resolution of a number of problematic issues addressing the organisation, quality and content of PhD candidates training in Ukraine.

A graphical analysis of the answers to **Question 7** «Is there anything that can be done under the



existing framework conditions, in order to improve the organisation, quality and/or contents of training

currently offered to PhD students?», is shown in Fig. 7.

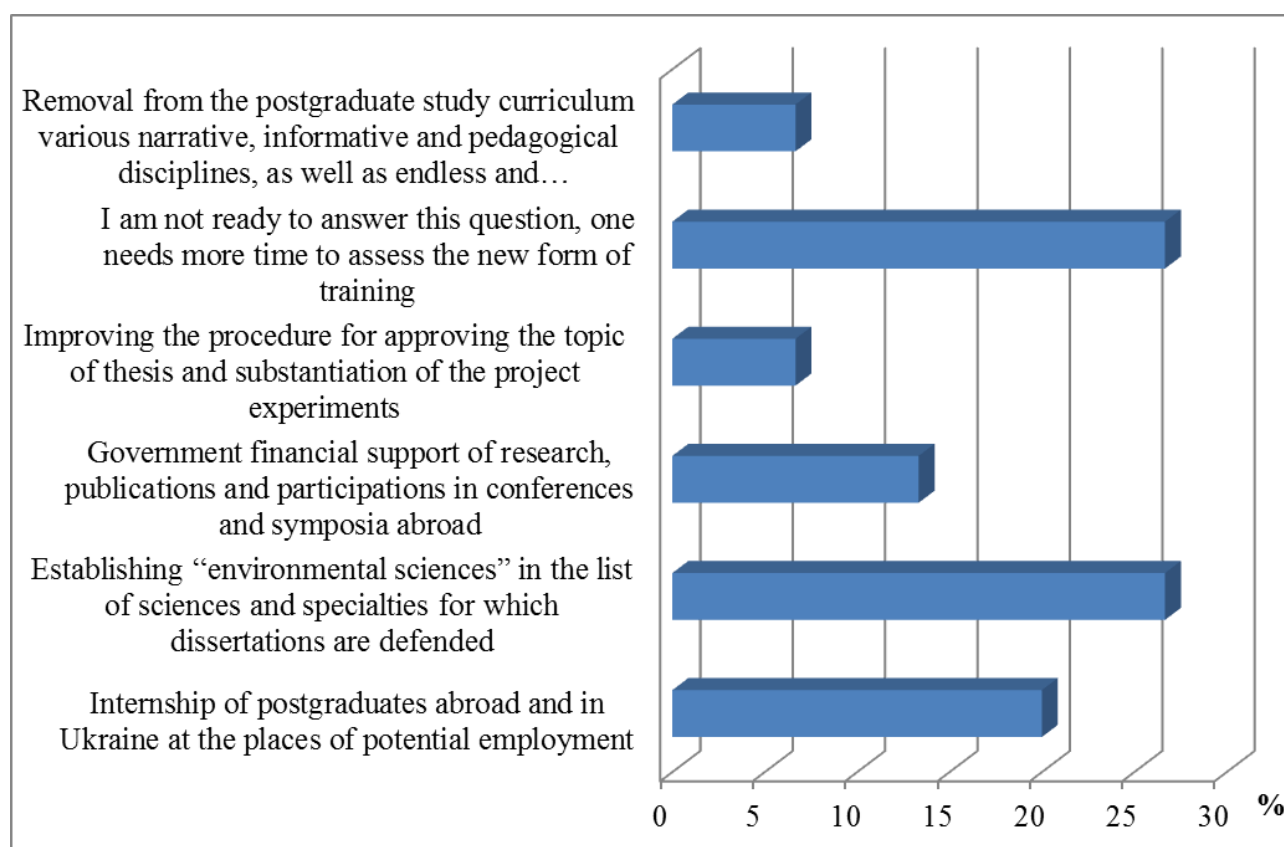


Fig. 7. Variation in answering Question 7

«Is there anything that can be done under the existing framework conditions, in order to improve the organisation, quality and/or contents of training currently offered to PhD students?»

Also, the questionnaires indicate that postgraduates need governmental financial support in the form of grants, which could be used for field or experimental research, the opportunity to participate in conferences, including foreign ones or to publish papers in the high-ranking journals.

Several respondents, with the aim to improve the organisation of postgraduate training, offer to remove a variety of narrative, informative and pedagogical disciplines with the endlessly and fruitlessly learning foreign languages. Practice is of utmost significance.

To improve the effectiveness of the research, there were suggestions to improve the procedure for approving the topic of the thesis. In particular, to approve not the actual title of the topic, as it is practiced today, but a research project with a thorough justification of the topic presented by a student (after the first year of study), a review of existing literature sources, problematic issues that need to be investigated, as well as a deeply understood formulation of the purpose and objectives of the study.

**Question 8** «Are there any subject-related or general skills the PhD students and graduates are

missing in order to make successful research careers and/or to complete their theses?» Every second respondent thinks that it is sufficient. On average, the respondents note that the training during postgraduate studies provides all the necessary competencies to postgraduates.

In the future, everything will depend on the personality of the postgraduate and traditions of the scientific school he was involved. The main thing is to have a desire. But talent is of utmost importance, too. The remaining respondents gave various response options, which are presented in Fig. 8 [23], but they all share one opinion that the very prospects are not very bright for a successful scientific career, because many R&D institutions are closing now, their funding, as well as the staff are being reduced, etc.

**In Question 9** «What forms of cooperation between PhD awarding (or providing doctoral training) institutions would improve the quality of doctoral studies at your institution and nationwide? In particular, in terms of:

- quality of provision, contents and relevance of PhD courses

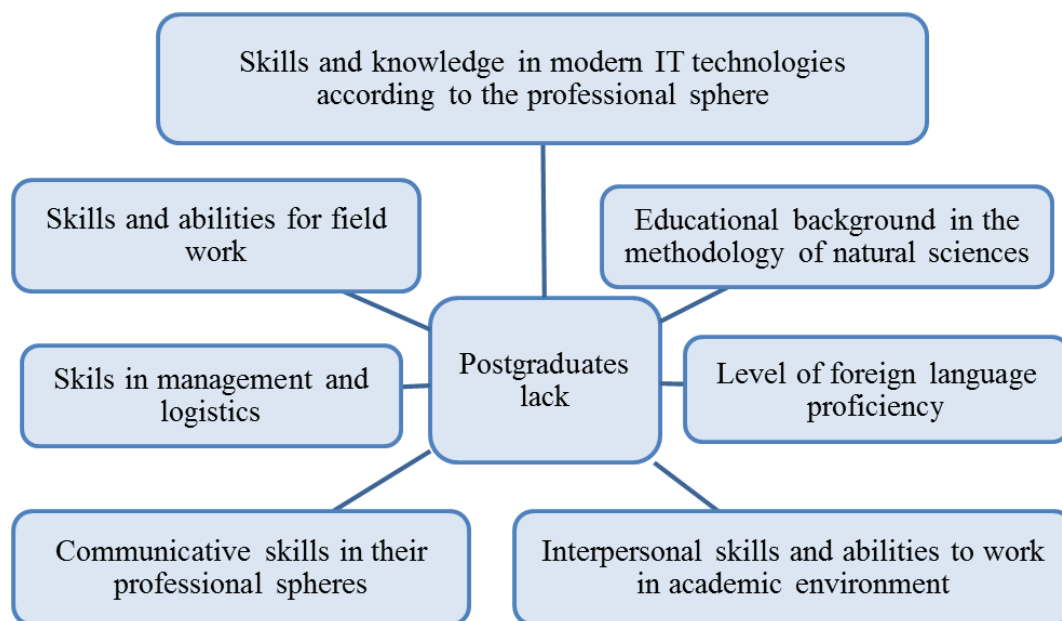


Fig. 8. Variation in answering Question 8 «What do postgraduates lack for a successful career?»

- joint research, supervision, publications and/or use of equipment and/or experimental facilities

- virtual and physical mobility of PhD students
- quality assurance and peer review
- networking, knowledge and data exchange

Regarding cooperation on quality of provision, contents and relevance of PhD courses, the respondents were unanimous: it is necessary to organise events that promote active scientific communication (scientific conferences, methodological workshops, postgraduate internships at other universities (including foreign ones), as well as mastering a certain number of credits in other universities.

Regarding joint research, supervision, publications and/or use of equipment and/or experimental facilities, joint research with the same methods in different regions is offered, or joint research by various scientists at the intersection of sciences, such as: geography and biology, ecology and geography, economics and geography, geography and environmental and ecological technologies, etc. Usually the results of such studies are the most integrated, systems and effective ones in their implementation. Carrying out the joint grant projects is also considered promising. The possibility of cooperation of a postgraduate not only with one supervisor, but with several ones, both in Ukraine and abroad (sandwich projects, etc.) is proposed.

Regarding virtual and physical mobility of PhD students, two components were considered: virtual and physical. The need for both, the first and second options, is not questioned by any of the respondents.

For virtual mobility there is a need to create the Internet libraries, common information platforms,

distant participation in Internet conferences, etc. Physical mobility is proposed to be implemented in the options shown in Fig. 9.

According to the respondents, to assure quality and peer review, it is necessary to involve reputable scientists from domestic and foreign universities and R&D institutions to teach disciplines to postgraduates. That is, teaching the disciplines stipulated by the educational and scientific programme, as well as in the permanent and one-time specialised scientific councils for the thesis defence.

It is also advisable to attract more intensively experts from other regions to evaluate the reports of postgraduates and review their publications, and perhaps even to compile a register of opponents (experts) on the main areas of the specialty. In the opinion of respondents, the quality of work would be enhanced by blind peer reviewing at least doctoral work and a reasonable assessment of work by experts.

The respondents also point out the need for introducing policies and procedures for quality and scientific ethics: preventing plagiarism in the work of postgraduate students; disregarding publications in substandard scientific journals with questionable editorial practices; encouraging publications in Ukrainian and foreign scientific journals, conducting high-quality peer-review, introducing adequate ethical work standards, disapproving of fictitious participation in scientific conferences; promotion of high-quality approbation of research results.

In addition, the responsibility of the supervisor and the primary institution which approve the thesis for submission increases (a department of the university or a division/section of the R&D institute).

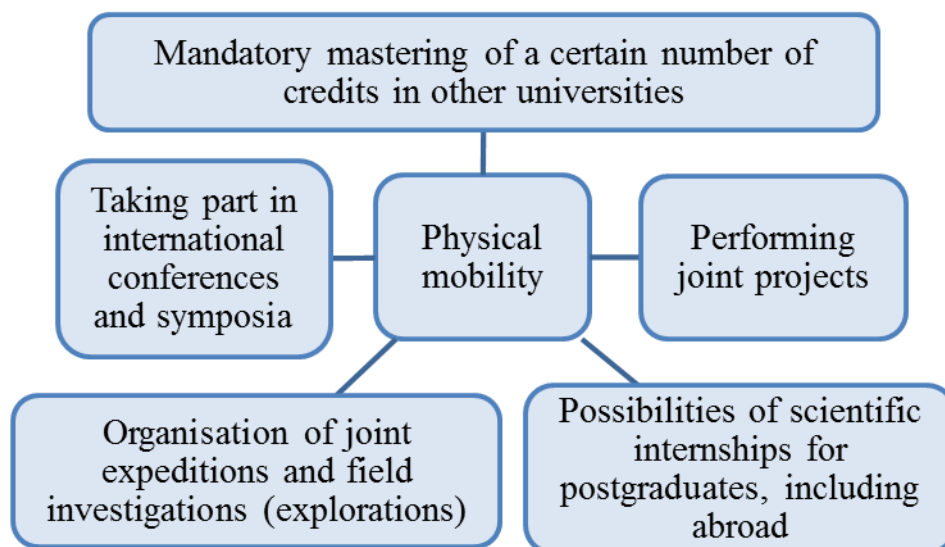


Fig. 9. Proposed options for physical mobility of postgraduates

All the respondents actively supported the necessity of networking, knowledge and data exchange. In the development of this thought, it was recommended to attract PhD candidates to social networks like ResearchGate, Academia.edu, etc. It has also been noted that at present there are no problems in this respect but there is a language barrier.

**Question 10** of the questionnaire, «If doctoral

training (including the educational provision and quality assurance) would be provided and/or coordinated by a nationwide organisation (e.g. the doctoral school in environmental studies), what services would you expect this organisation to deliver?» has caused controversy from the absolute needlessness of such a structure to placing very high hopes on it (Fig. 10).

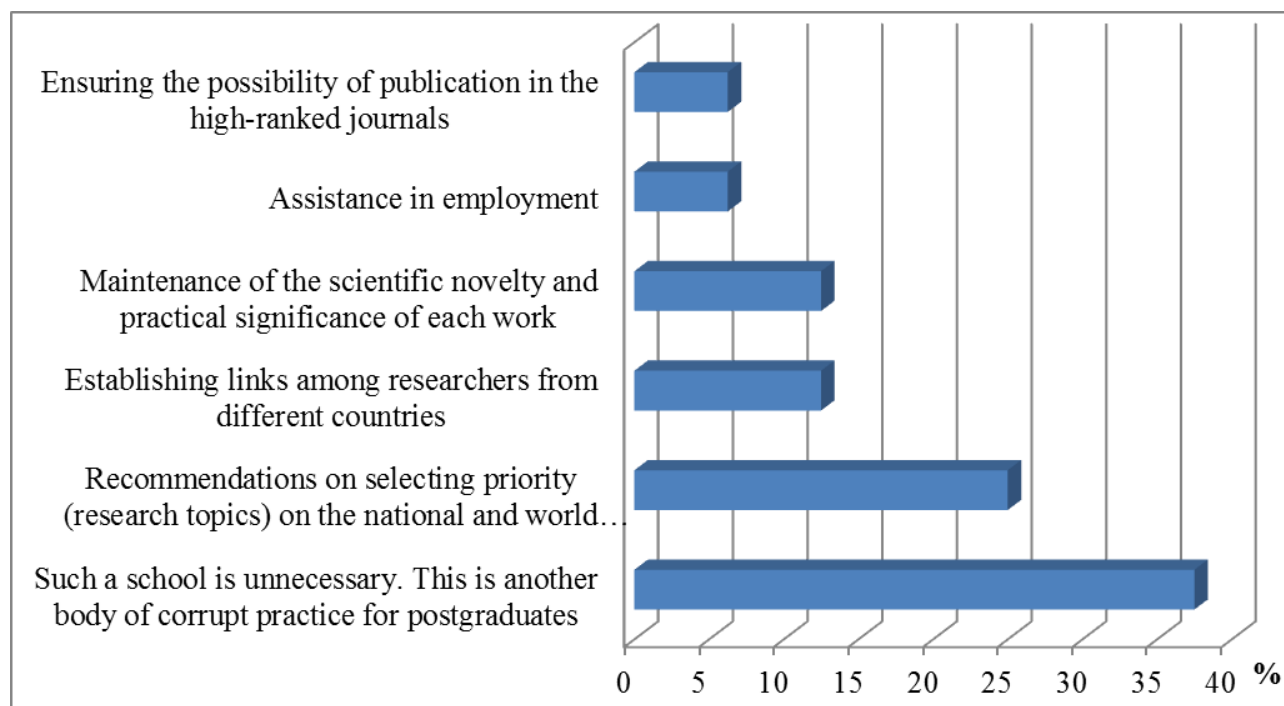


Fig. 10. Variation in answering Question 10 «If doctoral training (including the educational provision and quality assurance) would be provided and/or coordinated by a nationwide organisation (e.g. the doctoral school in environmental studies), what services would expect this organisation to deliver?»

Most respondents believe that new organisations do not need to set up. This would be one another body of postgraduates' dependency with a

high risk of corruption. Postgraduate training is carried out at scientific schools. Universities already have postgraduate study divisions. It is just required

to increase their effectiveness with taking into account the remarks that will be found in the course of this study.

Among the respondents there is also an opinion that such a structure could contribute to the selection of national and world-priority research, the profiling of doctoral schools and the resolution of regional problems.

They rely on such an organisation and hope for establishing ties among researchers from different countries for individual research work using equipment, providing joint scientific guidance, etc.

In addition, among the expectations there is the actualisation of the scientific novelty and practical significance of each work, recommendations for writing dissertations and its expert assessment after completion (a review from this organisation).

Individually, there is a hope for learning the current international requirements for preparation of scientific articles, methods of writing high-quality articles, the choice of scientific journals of adequate quality, in which it is advisable to publish the results of the research and assistance in the employment of environmental specialists.

When asked «How would you define the subject scope of a doctoral school in environmental management, policy and technology? (please, define key subjects / key words)», in **Question 11** the following list was delivered:

- Natural resources, secondary resources, alternate resources, resource saving, sustainable natural resource use.
- Environmentally tolerant natural resource use in various branches.
- Environmentally tolerant technologies, renewable energy, recycling in energy saving. Recultivation of degraded lands.
- Environmental technologies, including protective technologies of soils; water; and atmosphere. Environmental safety.
- Investigation of contemporary man-induced nature of Ukraine, its environmental geochemical and environmental geophysical features and impact on human health Environmental risk.
- Revitalisation and reconstruction of socio-environmental systems, environmental friendly housing. Environmental infrastructure.
- Environmental monitoring; observations, assessment and prediction of environmental shifts under the man-made effects.
- Environmental design.
- Environmental legal acts, environmental fines.
- National environmental policy. Sustainable development. Sustainable development of territorial communities, cities and regions.

- Environmental management; functions of environmental management.
- Optimisation of natural resource use, preventive approach in natural resource use.
- Conservation of biodiversity. Organisation and development of the environmental network.
- Environmental culture, environmental consciousness; Philosophic basis of management in natural resource use.
- Environmental education.

**Conclusions.** The research has shown that at present in Ukraine specialists of high qualification are trained on 4 environmental specialties: 03.00.16 - Environmental Sciences, 08.00.06 – Economics of Environmental Resources Management (Economics), 11.00.11 - Constructive Geography and Wise Use of Natural Resources (Geographic Sciences) and 21.06.01- Environmental Safety (Engineering and Industrial Technology Sciences, Chemistry and Geology). In addition, separate issues of environmental protection are considered in 15 specialties from the List 2011. All these from the one hand, give the opportunity for various types of specialists to work on solution to environmental problems. On the other hand, such approach eliminates the efforts on prioritizing environmental problems in society. One of the ways to solve this problem is to introduce a separate category for environmental sciences.

Scientific problems are scientific research of low quality, low level of application of modern technologies, non-correlation between the topics of the society demands, ignoring foreign experience in the solution to similar problems, etc.

Organisational problems are poor technical provisions, non-availability of training abroad for PhD students, low level of English, split between the PhD department and PhD students, problems with publications in peer-review journals and visual presentation of reseraches on international conferences, etc.

The list of recommendations to improve the training process for future environemtnal specialists in Ukraine includes:

- To establish “environmental sciences” in the list of sciences and specialties for which these are defended;
- To achieve government financial support of research, publications and participations in conferences and symposia abroad;
- To perform joint projects, joint expeditions and field investigations (explorations);
- Possibilities of scientific internships for post-graduates, including abroad.

### References

1. Про затвердження Переліку наукових спеціальностей: Наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 14 вересня 2011 N 1057 // Документ з1133-11, чинний, поточна редакція - Редакція від 15.05.2015, підстава - з0409-15 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1133-11>
2. Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти: Постанова КМУ від 29.04.2015 р. № 266 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/266-2015-%D0%BF>
3. Про особливості запровадження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2015 року № 266: Наказ МОН України від 06.11.2015 № 1151 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-01-18/4636/nmo-1151.pdf>
4. Про затвердження «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)»: Постанова від 23 березня 2016 р. № 261 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmi.gov.ua/ua/nras/248945529>
5. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 р. № 1341 // Архів оригіналу за 2013-08-27 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF>
6. Про затвердження плану заходів із впровадження Національної рамки кваліфікацій на 2016-2020 роки: Розпорядження КМУ від 14.12.2016 № 1077-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2016-%D1%80>
7. Про затвердження Порядку формування Переліку наукових фахових видань України: Наказ МОН України від 15 січня 2018 року № 32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0148-18>
8. Про відповідальність спеціалізованих вчених рад за прийняті рішення про присудження наукових ступенів: Лист МОН 1/9-150 від 14.03.2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.univer.kharkov.ua/docs/work/lyst-mon-pro-vidprovidalnist-specrad.pdf>
9. Рекомендації щодо запобігання академічному плагіату та його виявлення в наукових роботах (авторефератах, дисертаціях, монографіях, наукових доповідях, статтях тощо): Лист МОН № 1/11-8681 від 15.08.2018 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/akredytatsiya/instrukt-list/1-11-86...>
10. Положення про підготовку науково-педагогічних і наукових кадрів: Постанова Кабінету Міністрів України від 01.03.1999 № 309 [із змінами в редакції від 21.08.2013] (Втрата чинності відбудеться 01.01.2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/309-99-%D0%BF>
11. «Про вищу освіту»: Закон України // Документ 1556-VII, чинний, поточна редакція — Редакція від 25.07.2018, підстава - 2443-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>
12. Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1187: Положення про підготовку науково-педагогічних і наукових кадрів // Постанова КМУ від 10 травня 2018 р. № 347 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347-2018-%D0%BF>
13. Про затвердження Ліцензійних умов провадження освітньої діяльності закладів освіти: Постанова КМУ від 30 грудня 2015 р. № 1187 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF>
14. Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника: Постанова КМУ від 24 липня 2013 р. № 567 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/567-2013-%D0%BF>
15. Деякі питання діяльності Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти: Постанова КМУ від 27 липня 2016 р. № 567 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/567-2016-%D0%BF>
16. Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 27 липня 2016 р. № 567: Постанова КМУ від 4 липня 2018 р. № 519 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://asp.univ.kiev.ua/index.php/normativno-pravova-baza>
17. Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів: Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 // (Втрата чинності відбудеться 01.01.2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/567-2013-%D0%BF>
18. Про затвердження Вимог до оформлення дисертації: Наказ МОН України від 12.01.2017 року № 40 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0155-17>
19. Щодо використання у практичній роботі вищих навчальних закладів англomовного варіанту Переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти: Лист МОН України від 05 лютого 2016 року № 1/9-64 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-02-08/5048/lmon\\_64.pdf](http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-02-08/5048/lmon_64.pdf)



20. Права та обов'язки аспірантів (Нормативна документація з питань атестації наукових і науково-педагогічних кадрів) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://asp.univ.kiev.ua/index.php/normatyvno-pravova-baza/93-nakazy-ta-rozporiadzhennia-ministerstva-osvity-i-nauky-ukrainy>
21. Про затвердження «Тимчасового Порядку присудження науково-освітнього ступеня доктора філософії (проект постанови)» 10.08.2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-do-gromadskogo-obgovorennya-proekt-timchasovogo-poryadku-prisudzhennya-naukovo-osvitnogo-stupenya-doktora-filosofiyi>
22. Максименко Н.В. Очікування випускників-екологів щодо працевлаштування за фахом / Н.В. Максименко, С. М. Широкоступ // Проблеми сучасної освіти : збірник науково-методичних праць. – Вип. 6 / Укл. Ю. В. Холін, Т. О. Маркова. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015 – С. 13-23.
23. Maksymenko N. V. at al. Contemporary problems in the national system of Postgraduate training in Ukraine / Nadiya V. Maksymenko, Ganna V. Titenko, Kateryna B. Utkina, Alla N. Nekos // Warsaw East European Conference 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.weec.uw.edu.pl> (у друку)



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

The publication was prepared in the framework of ERASMUS+ project “Integrated Doctoral Program for Environmental Policy, Management and Technology – INTENSE”, financed by European Commission. Responsibility for the information and views set out in this publication lies entirely with the authors.

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

UDC: 911+378:502/504

**Nadiya Maksymenko,**

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor,  
Department of Environmental Monitoring and Nature Management, School of Ecology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [nadezdav08@gmail.com](mailto:nadezdav08@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>;

**Ganna Titenko,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Dean of School of Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [titenko555@gmail.com](mailto:titenko555@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8477-0672>;

**Kateryna Utkina,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecological Safety and Environmental Education,  
School of Ecology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [ecointernational@karazin.ua](mailto:ecointernational@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0632-1273>;

**Alla Nekos,**

Doctor of Sciences (Geography), Full Professor,  
Head of the Department of Ecological Safety and Environmental Education, School of Ecology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

**Anton Shkaruba,**

PhD (Geography), Senior Researcher,  
Department of Landscape Management and Nature Conservation, Estonian University of Life Sciences,  
5 Kreutzwaldi, Tartu, 51014, Estonia,  
e-mail: [anton@mespom.eu](mailto:anton@mespom.eu), <https://orcid.org/0000-0003-2536-2123>

## SOLVING CURRENT ENVIRONMENTAL PROBLEMS BY HARMONIZATION OF DOCTORAL PROGRAMS WITH EUROPEAN STANDARDS

**Formulation of the problem.** At present in Ukraine environmental problems are very topical. A comprehensive and effective solution to these problems can be grounded on the use of modern approaches, expressed through harmonization with the best world practices. Training of highly qualified specialists is an important component of the integrated approach. Currently, in Ukraine it is performed on 4 environmental specialties: 03.00.16 - Environmental Sciences, 08.00.06 – Economics of Environmental Resources Management (Economics), 11.00.11 - Constructive Geography and Wise Use of Natural Resources (Geographic

Sciences) and 21.06.01- Environmental Safety (Engineering and Industrial Technology Sciences, Chemistry and Geology). In addition, separate issues of environmental protection are considered in 15 specialties from the List 2011. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 266, dated April 29, 2015, “On approval of the list of branches of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained” (“List 2015”) canceled “List 2011” [2]. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1151, dated November 6, 2015, “On the peculiarities of introducing the list of branches of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained” [3], the table of compliance of the List of scientific specialties (“List 2011” and List of areas of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained, including PhDs (“List 2015”)) [2] was approved.

At the same time, up to the present day, theses have been defended according to “List 2011”. The problem of “dispersion” of environmental issues among various specialties in various branches of knowledge not only remained, but also grew up, as the number of the latter increased. This situation is of concern to the scientific community.

**The purpose of the article.** To clarify the problems existing in the national system of postgraduate students’ training in environment-oriented specialties and defending theses by them in accordance with modern requirements, as well as finding ways to improve this situation, based on international experience.

**Methods.** As part of the implementation of project Erasmus + “Integrated Doctoral Program for Environmental Policy, Management and Technology - INTENSE”, 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP, an anonymous survey of leading scientists engaged in post-graduate training and doing research work in the field of the environment. The questionnaire was developed by Odessa State Environmental University and the survey covered institutions of higher education in almost all regional centres of Ukraine, as well as the cities of Uman and Kremenchuk. It should be noted that such cities as Kharkiv, Lviv, Kyiv, Dnipro, Vinnytsia, Poltava and Uman were represented by several universities. The rest of the regions were represented by the respondents of one institution of higher education.

**Results.** The obtained results have shown the existing organisational and scientific problems. The key problem is the lack of a separate category for PhD (Environmental Sciences) in the updated List 2015. Scientific problems are scientific research of low quality, low level of application of modern technologies, non-correlation between topics with society demands, absence of foreign experience consideration in the solution to similar problems, etc. Organisational problems are poor technical supply, non-availability of training abroad for PhD students, low level of English, problems with publications in peer-review journals and visual presentation of the research at international conferences, etc.

**Keywords:** National Qualification Frameworks, PhD student, speciality, Environmental Sciences, problems, nature management, environmental policy, environmental technology.

#### References

1. *Nakaz Ministerstva osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy vid 14.09.2011 №1057 «Pro zatverdzhennya Pereliku naukovykh spetsial'nostey» (Dokument z1133- 11, chynnyy, potochna redaktsiya- Redaktsiya vid 15.05.2015, pidstava - z0409-15) [Order of the Ministry of Education and Science, Youth and Sport of Ukraine of September 14, 2011 № 1057 «On the approval of the list of scientific specialties» (Document z1133-11, valid, valid version – version of 15.05.2015, basis - z0409-15)]. (2011, 14 September). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1133-11> [in Ukrainian].*
2. *Postanova KMU vid 29 kvitnya 2015 r. № 266 «Pro zatverdzhennya pereliku haluzey znan' i spetsial'nostey, za yakymy zdiysnyuyet'sya pidhotovka zdobuvachiv vyshchoyi osvity» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of April 29, 2015 № 266 «On approval of the list of branches of knowledge and specialties for which candidates for higher education are trained»]. (2015, 29 April). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/266-2015-%D0%BF> [in Ukrainian].*
3. *Nakaz MON Ukrainy vid 06.11.2015 r. № 1151 «Pro osoblyvosti zaprovadzhennya pereliku haluzey znan' i spetsial'nostey, za yakymy zdiysnyuyet'sya pidhotovka zdobuvachiv vyshchoyi osvity, zatverdzenoho postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrainy» [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine of November 06, 2015 № 1151 «On the features of introduction of a list of fields of knowledge and specialties for higher educational institutions, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of April 29, 2015 № 266»]. (2015, 06 November). old.mon.gov.ua. Available at: <http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-01-18/4636/nmo-1151.pdf> [in Ukrainian].*
4. *Postanova KMU vid 23 bereznya 2016 r. № 261 «Pro zatverdzhennya «Poryadku pidhotovky zdobuvachiv vyshchoyi osvity stupenya doktora filosofiyi ta doktora nauk u vyshchyykh navchal'nykh zakladakh (naukovykh ustanovakh)» [Resolution of March 23, 2016 № 261 «On the approval of «Order for training of PhD students and Post-Doc students in higher educational institutions (research institutions)»]. (2016, 23 March). www.kmu.gov.ua. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/248945529> [in Ukrainian].*
5. *Postanova KMU vid 23 lystopada 2011 r. № 1341 «Pro zatverdzhennya Natsional'noyi ramky kvalifikatsiy» (Arkhiv oryhinalu za 2013.08.27) [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 23, 2011 № 1341 «On the*

- approval of National Qualification Frameworks» (Archive of originals 2013.08.27)]. (2011, 23 November). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF> [in Ukrainian].
6. Rozporядzhennya KMU vid 14 hrudnya 2016 r. № 1077-r «Pro zatverdzhennya planu zakhodiv iz vprovadzheniya Natsional'noyi ramky kvalifikatsiy na 2016-2020 roky» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 14, 2016 № 1077-p «On the approval of the action plan for introduction of the National Qualification Frameworks for the period 2016-2020 years»]. (2016, 14 December). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2016-%D1%80> [in Ukrainian].
  7. Nakaz MON Ukrayiny vid 15.01.2018 № 32 «Pro zatverdzhennya Poryadku formuvannya Pereliku naukovykh fakhovykh vydan' Ukrayiny» [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine of January 15, 2018 № 32 «On the approval of the Order of development of the List of research journals of Ukraine»]. (2018, 15 January). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0148-18> [in Ukrainian].
  8. Lyst MON Ukrayiny 1/9-150 vid 14.03.2018 «Pro vidpovidal'nist' spetsializovanykh vchenykh rad za pryynyati rishennya pro prysudzhennya naukovykh stupeniv» [Letter of the Ministry of Education and Science of Ukraine 1/9-150, of March 14, 2018 «On the responsibility of the Special Scientific Councils on the approved decisions on giving scientific degrees»]. (2018, 14 March). www.univer.kharkov.ua. Available at: <http://www.univer.kharkov.ua/docs/work/lyst-mon-pro-vidpovidalnist-specrad.pdf> [in Ukrainian].
  9. Lyst MON Ukrayiny № 1/11-8681 vid 15.08.2018 «Rekomendatsiyi shchodo zapobihannya akademichnomu plahiutu ta yoho vyyavlennya v naukovykh robotakh (avtoreferatakh, dysertatsiyakh, monohrafiyakh, naukovykh dopovidyakh, stattiakh toshcho)» [Letter of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1/11-8681 of August 15, 2018 «Recommendations on the prevention of the academic plagiarism and its identification in research works (theses, summaries, monographs, research reports, articles, etc)»]. (2018, 15 August). mon.gov.ua. Available at: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/akredytatsiya/instrukt-list/1-11-86> [in Ukrainian].
  10. Postanova KMU vid 1 bereznya 1999 r. № 309 «Polozhennya pro pidhotovku naukovo-pedahohichnykh i naukovykh kadriv» (iz zminamy v redaktsiyi vid 21.08.2013; Vtrata chynnosti vidbudet'sya 01.01.2019) [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 01, 1999 № 309 «Provision on the training of scientific-pedagogical and scientific staff» (with modifications, version of 21.08.2013; Not valid of 01.01.2019)]. (1999, 01 March). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/309-99-%D0%BF> [in Ukrainian].
  11. Zakon Ukrayiny «Pro vyshchu osvitu» (Dokument 1556-VII, chynnyy, potochna redaktsiya — Redaktsiya vid 25.07.2018, pidstava - 2443-VIII) [Law of Ukraine «On the higher education» (Document 1556-VII, valid, valid version -Version of 25.07.2018, basis- 2443-VIII)]. (2014). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> [in Ukrainian].
  12. Postanova KMU vid 10 travnya 2018 r. № 347 «Pro vnesennya zmin do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 30 hrudnya 2015 r. № 1187 «Polozhennya pro pidhotovku naukovo-pedahohichnykh i naukovykh kadriv» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 10, 2018 № 347 «On the introduction of modifications to the Resolution of the cabinet of Ministers of Ukraine of December 30, 2015 № 1187 «Provision on the training of scientific-pedagogical and scientific staff»]. (2018, 10 May). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347-2018-%D0%BF> [in Ukrainian].
  13. Postanova KMU vid 30 hrudnya 2015 r. № 1187 «Pro zatverdzhennya Litsenziynykh umov provadzheniya osvith'oyi diyal'nosti zakladiv osvity» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 30, 2015 № 1187 «On the approval of licensing rules of educational services of educational institutions»]. (2015, 30 December). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF> [in Ukrainian].
  14. Postanova KMU vid 24 lypnya 2013 r. № 567 «Pro zatverdzhennya Poryadku prysudzhennya naukovykh stupeniv i prysvoyennya vchenoho zvannya starshoho naukovoho spivrobotnyka» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 24, 2013 № 567 «On the approval of the Procedure of the giving scientific degrees and senior researcher title»]. (2013, 24 July). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/567-2013-%D0%BF> [in Ukrainian].
  15. Postanova KMU vid 27 lypnya 2016 r. № 567 «Deyaki pytannya diyal'nosti Natsional'noho ahentstva iz zabezpechennya yakosti vyshchoyi osvity» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 27, 2016 № 567 «Some issues of the activity of the National Agency for Assurance of the Quality of the Higher Education»]. (2016, 27 July). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/567-2016-%D0%BF> [in Ukrainian].
  16. Postanova KMU vid 4 lypnya 2018 r. № 519 «Pro vnesennya zmin do postanovy Kabinetiv ministriv Ukrayiny vid 27 lypnya 2016 r. № 567» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 4, 2018 № 519 «On the introduction of modifications to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, of July 27, 2016 № 567»]. (2018, 4 July). asp.univ.kiev.ua. Available at: <http://asp.univ.kiev.ua/index.php/normatyvno-pravova-baza> [in Ukrainian].
  17. Postanova KMU vid 24 lypnya 2013 r. № 567 «Pro zatverdzhennya Poryadku prysudzhennya naukovykh stupeniv» (Vtrata chynnosti vidbudet'sya 01.01.2019) [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 24, 2013 № 567 «On the approval of the Procedure of the giving scientific degrees» (Not valid of January 01, 2019)]. (2013, 24 July). zakon4.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/567-2013-%D0%BF> [in Ukrainian].
  18. Nakaz MON Ukrayiny vid 12.01.2017 r. № 40 «Pro zatverdzhennya Vymoh do oformlennya dysertatsiyi» [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine of January 12, 2017 № 40 «On the approval of the Requirements

- for development of thesis»]. (2017, 12 January). zakon.rada.gov.ua. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0155-17> [in Ukrainian].
19. Lyst MON Ukrayiny vid 05 lyutoho 2016 r. № 1/9-64 «Shchodo vykorystannya u praktychniy roboti vyshchyykh navchal'nykh zakladiv anhlomovnoho variantu Pereliku haluzey znan' i spetsial'nostey, za yakymy zdiysnyuyet'sya pidhotovka zdobuvachiv vyshchoyi osvity» [Letter of the Ministry of Education and Science of Ukraine of February 5, 2016 № 1/9-64 «On the use in routine work of higher educational institutions the English version of the List of fields of knowledge and specialities for higher educational institutions»]. (2016, 05 February). old.mon.gov.ua. Available at: [http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-02-08/5048/lmon\\_64.pdf](http://old.mon.gov.ua/files/normative/2016-02-08/5048/lmon_64.pdf) [in Ukrainian].
20. Prava ta obovyazky aspirantiv (Normatyvna dokumentatsiya z pytan' atestatsiyi naukovykh i naukovopedagogichnykh kadriv) [Rights and obligations of PhD students (Normative document on the issues related to the attestation of scientific-pedagogical and scientific staff)]. (n.d.). asp.univ.kiev.ua. Available at: <http://asp.univ.kiev.ua/index.php/normatyvno-pravova-baza/93-nakazy-ta-rozporiadzhennia-ministerstva-osvity-i-nauky-ukrainy> [in Ukrainian].
21. Pro zatverdzhennya «Tymchasovoho Poryadku prysudzhennya naukovo-osvitn'oho stupenya doktora filosofiyi (proekt postanovy)» [On the approval of «Temporary procedure for giving PhD degree (draft regulations)»]. (2018, 10 August) mon.gov.ua. Available at: <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-do-gromadskogo-obgovorennya-proekt-tymchasovogo-poryadku-prisudzhennya-naukovo-osvitnogo-stupenya-doktora-filosofiyi> [in Ukrainian].
22. Maksymenko, N., & Shirokostup, S. (2015). Ochikuvannya vypusknikov-ekolohiv shchodo pratsevlashtuvannya za fakhom [Expectation of graduates from environmental specialities on their future employment]. Problemy suchasnoyi osvity : zbirnyk naukovo- metodychnykh prats' – Problems Of Modern Education : Collections Of Scientific-Methodological Works, (6), 13-23 [in Ukrainian].
23. Nadiya V. Maksymenko, Ganna V. Titenko, Kateryna B. Utkina & Alla N. Nekos (2019) Contemporary problems in the national system of Postgraduate training in Ukraine. Warsaw East European Conference 2019. Available at: <https://www.weec.uw.edu.pl> (in press)

UDC 631.95:504

**Volodymyr Mykolaiovych Opara,**

PhD (Technical Sciences), Professor,

V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [volodimiropara2019@gmail.com](mailto:volodimiropara2019@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2782-706X>;

**Iryna Mykolaivna Buzina,**

PhD (Agriculture), Associate Professor,

Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,

V. V. Dokuchayiv Kharkiv National Agrarian University,

Kharkiv region, Kharkiv district, «Dokuchaevske-2», 62483, Ukraine,

e-mail: [nezabudka120187@gmail.com](mailto:nezabudka120187@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0885-0558>;

**Dmytro Dmytrovych Khainus,**

PhD (Economic), Associate Professor, Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,

V. V. Dokuchayiv Kharkiv National Agrarian University,

e-mail: [dmitry.khainus@gmail.com](mailto:dmitry.khainus@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6097-1464>

## LANDSCAPE-ECOLOGICAL INVESTIGATIONS MAPPING OF V. V. DOKUCHAYIV KHNAU ARBORETUM'S TERRITORY

**В. М. Опара, І. М. Бузіна, Д. Д. Хайнус. КАРТОГРАФУВАННЯ ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРИТОРІЇ ДЕНДРОЛОГІЧНОГО ПАРКУ ХНАУ ІМ. В.В. ДОКУЧАЄВА.** У представленій статті стисло висвітлено основні проблеми, які виникають під час проведення ландшафтно-екологічних досліджень територій. На прикладі дендрологічного парку ХНАУ ім. В.В. Докучаєва розглянуто порівняльно-екологічний метод оцінки ґрунтових умов за лісорослинним ефектом, тобто за видовим складом і продуктивністю корінних лісових рослинних угруповань. Ліс виступає як система рослинності і середовища проживання, а з екологічної точки зору – як відображення середовища, як її лісорослинний ефект. А також для обґрунтування заходів, спрямованих на вирішення актуальних ландшафтно-екологічних проблем, а саме, трансформації і забруднення природного середовища, розвитку морфодинамічних процесів. Досліджено вміст важких металів на території дендропарку, проведено ранжирування факторів, які впливають на розподіл концентрацій поллютантів та визначено тип екологічної ситуації за допомогою картографічних методів. Запропоновано сучасні та екологічні методи відновлення порушених територій за допомогою фіторе mediaційних технологій, які є значно дешевшими та безпечнішими. Під час запровадження методів фіторе mediaції відбувається менше вторинних забруднень, фізичний і гранулометричний склад ґрунтів не погіршується, біологічна активність не зменшується, а продуктивність утримується сталою. Дана технологія найбільш зручна для очищення помірно забруднених ґрунтів. Ґрунти, як елемент ландшафту є вагомим блоком екосистем, руйнування яких має багатовимірне значення для стабільності природного середовища. Агрогенне перетворення ґрунтів традиційно оцінювалося як прогресивне. Однак, науковий аналіз свідчить, що екстенсивне землеробство, нераціональне хімічне удобрення й фетишизація пестицидів зумовили значне зниження родючості, а подекуди й втрату, внаслідок розвитку ерозії, природного ґрунтового покриву на великих площах. Подібні процеси стимулюють ґрунтову мікрофлору до розкладання органічних забруднень і сприяють позлинанню рослиною шкідливих речовин. Ландшафтно-екологічний підхід наразі застосовують у вирішенні багатьох наукових завдань: як теоретичних, так і практичних.

**Ключові слова:** ландшафтно-екологічні дослідження, картографування, едатоми, трофотопи, едафічна сітка, дендрологічний парк.

**В. Н. Опара, И. Н. Бузина, Д. Д. Хайнус. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРРИТОРИИ ДЕНДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА ХНАУ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА.** В представленной статье кратко освещены основные проблемы, возникающие при проведении ландшафтно-экологических исследований территорий. На примере дендрологического парка ХНАУ им. В.В. Докучаева рассмотрен сравнительно-экологический метод оценки почвенных условий по лесорастительному эффекту, то есть по видовому составу и продуктивности коренных лесных растительных сообществ. Лес выступает как система растительности и среды обитания, а с экологической точки зрения – как отражение среды, как ее лесорастительных эффект. А также для обоснования мероприятий, направленных на решение актуальных ландшафтно-экологических проблем, в частности, трансформации и загрязнения природной среды, развития морфодинамических процессов. Исследовано содержание тяжелых металлов на территории дендропарка, проведено ранжирование факторов, влияющих на распределение концентраций поллютантов и определен тип экологической ситуации с помощью картографических методов. Предложено современные и экологические методы восстановления нарушенных территорий с помощью фиторе mediaционных технологий, которые значительно дешевле и безопаснее. При введении методов фиторе mediaции происходит меньше вторичных загрязнений, физический и гранулометрический состав почв не ухудшается, биологическая активность не уменьшается, а производительность сохраняется постоянной. Данная технология наиболее удобна для очистки умеренно загрязненных почв. Почвы, как элемент ландшафта является весомым блоком экосистем, разрушение которых имеет многомерное значение для стабильности природной среды. Агрогенное преобразование почв традиционно оценивалось как прогрессивное. Однако, научный анализ свидетельствует, что экстенсивное земледелие, нерациональное химическое удобрение и фетишизация пестицидов обусловили значительное снижение плодородия, а иногда и потерю, в результате развития эрозии, природного почвенного покрова на больших площадях. Подобные процессы стимулируют почвенную микрофлору к разложению органических загрязнений и способствуют поглощению растением вредных веществ. Ландшафтно-экологический подход сейчас применяют в решении многих научных задач: как теоретических, так и практических.

**Ключевые слова:** ландшафтно-экологические исследования, картографирование, едатоми, трофотопы, эдафическая сетка, дендрологический парк.



**Formulation of the problem.** In the field of ecology the investigation of spatial analysis of objects is almost not considered, while landscape science, on the contrary, has rich and well-studied traditions. To solve various issues of geosystems' dynamics in landscape investigations, it is necessary to involve the concept of ecology. In general, in the field of ecology and landscape science, we can find many combining and complementary situations, theoretical positions, methods, whose synthesis involves formation of landscape ecology theoretical basis [1].

Agricultural production is inextricably linked with landscapes. The soil cover and its quantitative and qualitative status is one of the most important components of land.

Modern integrated field studies envisage not only obtaining the necessary information about the landscape and landscape-forming processes, but also using it during environmental research. Various forms of obtaining landscape information are used: substantiation, recommendations, special maps, schemes, models, etc. [1-2].

A comprehensive system approach to the rational use of natural resources and public health protection in conditions of intensive anthropogenic loading on the environment raises the problem of assessing the ecological state of landscapes and the possibility of fulfilling their respective ecological functions in the foreground [3].

#### **Actual scientific researches and issues analysis.**

Measures to stabilize and restore the ecological state of landscapes and soils as their integral part require the ecological assessment of the environment conditions and the efficiency of land resources use. This assessment has a number of territorial features, which are easier and more explicitly explored by mapping methods. This suggests the need to create a general or universal landscape-ecological database that would provide substantiation of specific decisions on the ecological safety of the territories [4-5].

The content of such a database should be as comprehensive as possible, versatile, reliable and objective landscape-ecological characteristics of the environment. It is possible to provide the above-mentioned needs using GIS with modern mapping methods. The complexity of the task is determined by the peculiar study objects – a great variety of parameters characterizing the qualitative state of the environment.

Geographic information systems enable us to automate and accelerate the process of obtaining the necessary information at the right moment, integrating data from different sources, and ensuring in-

teroperability with other systems and technologies used in the process of regional development management (V.M. Bagrov, T.V. Kotova, L.F. Yanvariova) [6].

Such systems are intended to provide the executive authorities and local government with reliable information on the current state of natural resource potential, human resources, environment, economic and social situation in the region with subsequent transition to scientifically grounded forecasting according to certain models. Regional GIS, both complex and thematic, should be developed according to the approaches adopted for the development of the national GIS proposed by L.G. Rudenko, V.S. Chabaniuk and others [4-6].

According to domestic studies (M.V. Bahrov, V.O. Bokov et al.) and foreign scientists [7-9], the conceptual data model for the needs of ecological and environmental mapping should include the information on:

- natural and socio-economic systems as determinants of nature use;
- ecological conditions of the region and its evaluation;
- measures to optimize nature use;
- the expected effectiveness of their implementation.

The ecological aspect of the geosystems' study has a number of approaches. Geography, as a science that uses environmental assessment criteria, can address a multitude of issues related to protection and optimization of disturbed territories. They are reduced to the geosystems' management, which is possible only on an ecological basis. Ecology, as a science, is the filter through which it is necessary to skip geographic information before it is used in solving economic issues.

Natural environment is characterized by spatial variability. It is this property that is of great ecological significance. Therefore, the geographical study of it is a prerequisite for landscape and environmental research. An important feature of geographic research is the great potential of a systematic approach to the study of natural and social phenomena that can be used in environmental studies [4, 6, 9].

Correct assessment of the natural fertility in forestry is a prerequisite for a successful solution to the practical issues of forest cultivation. Any forest massifs are formed and function with the close interaction of various natural factors: climate, relief, vegetation, soil cover and underlying rocks and constitute a set of interconnected complicated physical and geographical processes. The landscape-ecological approach gives an opportunity to study the structure of forest masses - the product of zonal and azonal factors, as well as the diversity of land-

scape types on a particular territory, to consider the interconnection between the biological diversity of forests and the basis of the landscape - the lithological framework [10].

The average value of optimal forests index in the forest-steppe zone varies within 20%. Approximately the same area is occupied by meadow-steppe and wetland groups of vegetation.

According to the estimations of scientists, landscape-ecological optimization of the territory is achieved with the harmonious combination of natural and anthropogenic landscapes in the ratio of 3:2 of landscape structure [11].

Thus, at least 40% of the territory of any forest steppe region should be occupied by natural landscapes, and according to J. Odum – up to 60% [12].

Consequently, the efforts of geography, cartography and ecology are aimed at preservation of the natural environment, or rather spatio-temporal peculiarities of the organisms' interaction with the environment. This interaction takes place in different socio-natural conditions, at the level of specific ecosystems and geosystems, that is, on a certain territory. This forms a new research object – a geosecosystem that enables us to use different geographic approaches to their investigation [6, 12].

The most important feature of geosystems is their territorial integrity, ties, and stable structure. The number of elements in such systems and the existing interrelationships between them give a general idea of the scale of this system. The description of the elements is the starting point for studying its integrity, that is, the internal unity of the object.

In the studies by B.F. Ostapenko and D.V. Vorobyov the criterion for the forest type allocation is the indigenous forest association, which is the result of the development (evolution) of the vegetation cover. It has a certain composition of forest-forming wood species, a certain natural biological productivity, the magnitude of which is a source for comparing and assessing natural and actual productivity of a particular area of forest area related to this type of forest [13, 14].

In a geographical aspect, each type of forest occupies different by size but unique geographical and climatic range, determined by the combination of characteristic wood ranges, and sometimes shrub species belonging to the fundamental plant association. At the same time, in each sector or district of forestry-typological zoning (according to Morozov – type of forest massif) only one type of forest located along the plains is zonal. In the mountains it is of altitudinal zonation, all other types of forest are intrazonal.

In the eco-taxonomic aspect, the forest type is one of the main taxons of the typology. As a climatic and isometric form it enters a larger taxon – the type

of forest area, homogeneous in soil fertility. Under specific conditions, it may be presented in various ways. Smaller units are the types of woodland and their analogues, i.e. the types of shrubs, grass, formed in the forest type as a result of human activity or the action of natural phenomena [14].

The main purpose and significance of such studies is the purposeful study of the components in the landscapes structure, the dynamics of natural and socio-economic elements for solving a specific scientific or practical task. In the case of an in-depth mapping study of geosystems, a number of conditions must be met:

- to develop spatial and content classification of geosystems and scientific analysis of the latter;
- to establish the specifics of their mapping for all sections in the classification of geosystems which involves the reproduction of the main components and interconnections, as well as the features of generalization for each hierarchical level;
- to use regularly the method of division for the study of complex geosystems.

In each particular case, the purpose and strategy of landscape-ecological mapping study is different. It depends on whether the analysis of the selected geosystem is carried out, or the system from the investigated elements is synthesized. Since the starting positions are different, the planning and organization of the study will also be different. It is necessary observe the territory, time, level of study, degree of generalization, scale, language [15-16].

During the development of the edaphic grid we used a comparative and ecological method for assessing soil conditions for the forest-based effect, that is, by species composition of vegetation and productivity of indigenous forest vegetation groups. To evaluate (indicate) soil fertility, plants were divided into ecological groups according to the requirements for moisture and soil richness, based on the forestry "scales of demands" and ecological grouping of plants adopted in geobotanics. According to the ordinate of soil richness (or trophy) "scale of demands" of wood species to the soil were used to establish forest groups (trophotops), developed by G.F. Morozov and M.K. Turskyi, as well as distribution of plants on oligotrophs, mesotrophs and megatrophs accepted in the geobotanics [14, 15].

In the practice of forest management and long-term planning of forestry the knowledge of trophotops is necessary when selecting the main types of the forestry, in determining natural productivity of land and its reserves. It is also essential in the period of clearing and reconstruction of plantations, when selecting forest trees and designing the types of crops for logging, etc.

Therefore, in a detailed approach to assessment of forest vegetation conditions, edaphic and climatic

variants of trophies, such as acidiphilic, calcium, nitrophilic, thermal, etc., are allocated as additional ordinates. Their allocation is necessary in the course of scientific research and in the implementation of some forestry measures.

Types of cover are of interest for us in terms of indications related to soil and moisture. The type of forest area can be established only if there are species of different ecological characteristics, different environmental properties in the composition of plants.

Thus, edatop is determined by the composition of plants (main feature) belonging to different ecological groups. It is very easy to make a mistake taking into account the species of only one ecological group, while the presence of species with different ecological characteristics gives us the opportunity to very confidently determine the type of forest area.

In the development of edaphic grid we applied a comparative-ecological method for assessing soil conditions for the forest-based effect, i.e. species composition and productivity of indigenous forest vegetation groups, considered as a system of vegetation and habitat. From an environmental point of view it is a reflection of the environment, as its forestry effect. Plants were divided into ecological groups for the assessment (indication) of soil fertility for demanding moisture and soil richness.

The basis for this was given by the forestry "scales of demands" and the ecological groupings of plants taken in geobotanics. According to the ordinate of soil richness or trophy for the establishment of forest groups (trophotops), scale of demanding of woody rocks to the soil was used, as well as the separation of plants in oligotrophs, mesotrophs and megatrophs adopted in geobotanics. Similarly, the soil moisture ordinates have been constructed. To establish moisture groups (hygrotops), there were accepted geobotanical groupings of plants including xerophytes, mesophytes, hygrophytes and surface-covering groups, established by A.A. Krudener. These groups are used to determine the (indication) of edotopes in nature [13-16].

**Identification of previously unsettled parts of the general issue.** The methodological bases of the landscape-ecological analysis of the territory, the issue of rational nature management and the resolution of environmental problems of a specific region are not clearly outlined in the literature today. To resolve these issues, it is necessary first of all:

- to clearly formulate the main theoretical and methodological aspects of ecological analysis and assessment of landscapes;
- to identify patterns of spatial diversity of natural and human-made complexes of the studied territory, background geochemical and geophysical

functions of natural components;

- to conduct a structural and functional analysis of anthropogenic landscapes;

- to develop (supplement) the methodology of landscape and ecological evaluation of the properties of natural complexes in different taxonomic ranks, the role of components in the formation of the ecological situation;

- to assess the ecological condition of a particular territory, namely, the arboretum on the territory of the educational campus of the V.V. Dokuchayiv KhNAU in Kharkiv district, Kharkiv region.

**Purpose statement:** The purpose of this work was to study the landscape and ecological structure of the forest massif, to identify the relationship between the components of landscapes on the example of V.V. Dokuchayiv KhNAU arboretum by mapping the territory.

**Presentation of the main material.** The main task of landscape-ecological investigations is the development of landscape bases for solving various ecological problems of the environment and the scientific substantiation of ways to optimize its state through mapping modeling.

Before conducting special investigations, it is necessary to have materials of landscape field mapping and laboratory analysis of samples of landscape components, both background and anthropogenically loaded and contaminated. Today, different methods of investigation are used, namely: landscape profiling, continuous shooting on key sites, conjugated testing in autonomous and subordinate elementary landscapes, etc. Around the sources of pollution, a more detailed landscape-geochemical mapping is performed on the morphological units and chains. Radial (around the source of pollution) and cascading (swimming pools of the small year) routes are applied.

The main source of information about soils, their ecological status, evaluation, use is the data of landscape-ground surveys and surveys, recorded on plans, maps, photographs and models of the area.

Prospective development of scientific research and advanced manufacturing mapping experience shows that remote measurement methods that allow large areas to be covered efficiently detect most soil and landscape parameters, provide the opportunity to automate the collection, processing, analysis and mapping of spatial information about an object. Also the direction of forecast mapping modeling becomes more and more popular, which allows to predict the development of certain processes in the environment.

To conduct the investigation, the arboretum's territory of V.V. Dokuchayiv KhNAU's educational campus was selected.

*Geographical position of the arboretum.* The

arboretum is the part of the green zone of the educational campus of V.V. Dokuchayiv KhNAU. It is located in the north-east of the educational campus. In the north, the park borders on the experimental field, in the north-east – on the country and in the east – on garage cooperatives, in the south – on a residential area, along the western border there is a road leading to the township Rohan, and across the road there is Veterans Park (Fig. 1).

Currently the arboretum covers the area of 23.20 hectares. It includes collection (exposition)

areas – 23 blocks with a total area of 14.10 hectares; flowerbed – 0,70 hectares; introductory nursery of about 1.0 ha; a collection of perennial flowers – 0,30 hectares; archival-clone and seed plantations of pine and oak – 6,50 hectares; the molded bed for the pond is 0.60 hectares (in the designing the pond the close occurrence of a strong sand layer was not taken into account, therefore, water disappears quickly and the pond only operates for a short period), mother plantation of hazelnuts – 0.24 hectares, the household yard [17-19].

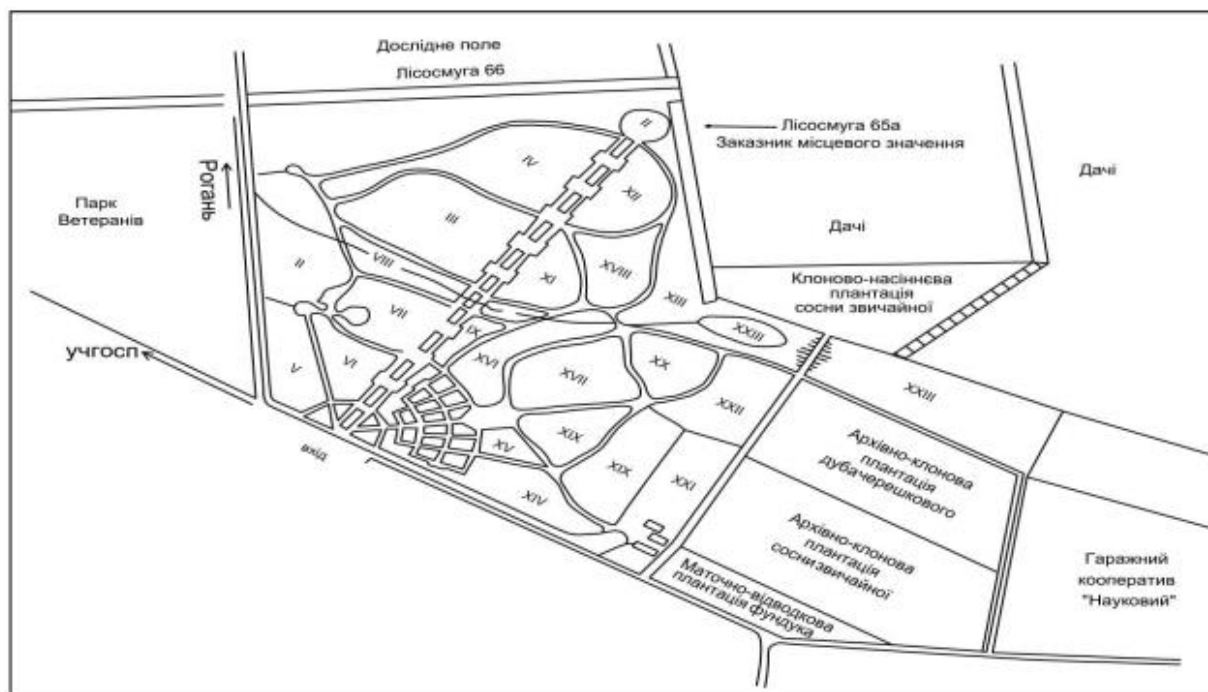


Fig.1. Spatial-functional structure of the arboretum [17]

Equivalence table for Fig. 1

Дослідне поле	The experimental field
Лісосмуга 66	Forest band 66
Парк Ветеранів	Veterans Park
Рогань	Rohan
Учгосп	Instructional farm
Вхід	Entrance
Дачі	Cottages
Лісосмуга 65а	Forest band 65а
Заказник місцевого значення	Local Value Reserve
Клоново-насіннева плантація сосни звичайної	Clone-seed plantation of Scotch pine
Архівно-клонова плантація дуба черешкового	Archival-clone plantation of petiole oak
Архівно-клонова плантація сосни звичайної	Archival clone plantation of Scotch pine
Маточно-відводкова плантація фундука	Mother plantation of hazelnuts
Гаражний кооператив «Науковий»	Garage cooperative "Naukovyi"

The arboretum is the object of the natural reserve fund of Kharkiv region of national importance. The purpose of establishing was:

- in artificial conditions preservation of collections of living plants and other botanical objects

having scientific, educational, economic and cultural significance;

- conducting research works;

- conducting educational, pedagogical and ecological-educational work in the field of botanics and

nature protection, plant growing and selection, ornamental horticulture and landscape architecture.

*Soil-climatic conditions of the arboretum.* To investigate landscape-ecological conditions, typical combinations of certain subtypes and varieties of soil with the typical forest-germination types, defined as forest-based conditions, were considered in the paper. This concept is an important forestry indicator that characterizes homogeneous forest-based conditions on forest plots covered and uncovered with forest vegetation. The edaphic grid of Alekseyev-Pohrebniak, specified by B.F. Ostapenko is used for their classification [14], based on combinations of moisture and soil richness. Such combinations are called edatopes. In our case, this is fresh ground (D2). Forest ecologists estimate it as the most fertile habitat, where soils rich in nutrients (loamy and clay-rich) are covered with vegetation with a prevailing number of megatrophs. Mesotrophs are found only in the upper woody tiers.

So, the soils here are typical black soils average-washed, which are bedrocked with loess loams on a thick layer of Neogene sands (the Poltava tier, according to the classical scheme of its stratigraphic division, recognized by soil scientists following Kharkiv geologists D. Sobolev, I. Remizov, et.al.).

The soil of the test site territory is classified by the authors as the following agro-groups, according to the generally accepted "Nomenclature list of agro-industrial groups of soils in Ukraine":

65e – ordinary chernozem soils weakly eroded heavy- argillaceous and light-loamy

66г – ordinary chernozem soils medium-eroded light-argillaceous

66д – ordinary chernozem soils medium-eroded medium-argillaceous

63д – ordinary chernozem soils salt-washed medium-argillaceous

209г – washed chernozem soils and meadow-chernozem light-argillaceous soils (Fig. 2).



Fig. 2. Cartogram of agro-industrial groups of soils on the territory of the arboretum

Continental climate with unstable moisture. Average annual air temperature is +6.5 ° C with a variation from +38 to -35 ° C. The frost-free period is 113 - 200 days. The average annual rainfall is 520 mm with a variation of 330 to 740 mm. The rainless period can last from 10 to 52 days. A term with a relative humidity below 30% may be 24 or more nights. On these days there are dry winds and droughts. The study of changes in the annual

amount of precipitation observed and studied by many scientists in recent years, according to the township Rohan (experimental field of KhNAU near the arboretum) makes it possible to claim that there is a continental type of annual flow of precipitation in general in this territory. According to it, their maximum amount is during a warm period. The territory belongs to an area with unstable moistening [20].



The authors created the information base for an automated system of landscape ecological maps, which consists of a database of cartographic information and a database of thematic data about the investigated area.

The cartographic database includes the following materials:

1. A spatial-functional structure of the arboretum, which provides information on the contours and qualitative state of the territories (Fig. 1), and the cartogram of agro-industrial groups of territories (Fig. 2).

2. A digital image of the investigated area (Fig. 3). Aerospace images provide fast information about the landscape, coverage of large areas, simultaneous transfer of many of their properties in different ways, using the entire range of electromagnetic spectrum. This makes aerospace information one of the main sources in the information system of automated cartographic systems. It has radically changed the traditional ways of composing landscape maps. All these materials are a traditional topographic basis for mapping landscapes.



Fig. 3. A snapshot of KhNAU's arboretum territory, 2018.

3. *Digital model of relief* (Fig. 4). A multidimensional analysis of an object, process or phenomenon is increasingly used when conducting research in ecology. Comprehensive characteristics of the studied environment are used as mathematical data – spatial, temporal, quantitative and qualitative. Given the available data, the type and nature of information used during modeling, different methods of constructing models are chosen.

Digital model of relief is intended for interactive visualization and has the effect of presence on the ground. In our case, it reflects the location and numbering of soil samples selected for laboratory studies.

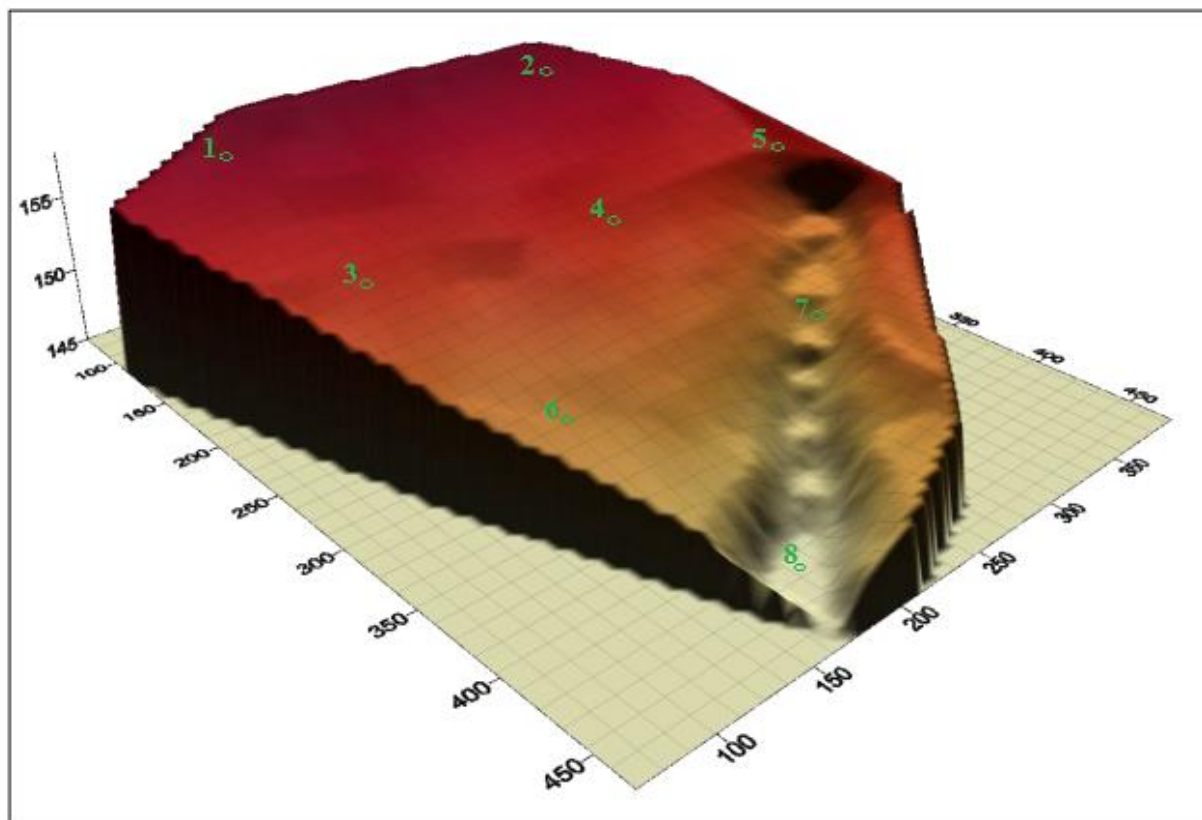
Such models are used to substantiate measures to optimize land use in order to restore and stabilize the ecological situation, assess the nature-recreational potential of the territory, monitor the components of the environment, predict the devel-

opment of transformation and degradation processes and environmental phenomena.

Cartographic modeling is of interest to researchers, since this is the most laconic way to streamline a large amount of geographic information. This direction is particularly relevant for those areas where the map is a means of creating sound concepts of spatial and temporal patterns that take place in the landscape-environmental field of research. It is absolutely impossible to explore them locally. That is why 3D landscape modeling has great prospects.

Along with the purely cartographic information, the database must also be filled with statistical information.

*Applied landscape geochemical surveys.* Samples from the upper fertile soil layer were selected for research on the arboretum territory and the content of the moving forms of heavy metals (iron, ma-



**4** - place and number of soil sample selection

Fig. 4. Digital model of V.V. Dokuchayiv KhNAU's arboretum territory relief.

nganese, zinc, copper, nickel, lead, chromium and cadmium) was determined by atomic absorption spectrometry (Fig. 4).

The obtained results show the following. The accumulation of elements occurs in areas of the ter-

rain lowering due to runoff of surface and groundwater. The most dangerous of these are lead, cadmium, chromium, nickel, whose concentration exceeds the acceptable concentration (AC) up to 3-4 times, or are on the verge of excess (Table 1).

Table 1

Concentrations of heavy metals in the investigated soils

Elements	Concentration (average), mg / kg									
	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	AC
Iron		3,37	3,54	78,23	85,43	29,45	50,92	289,08	227,17	-
Manganese		40,62	16,43	228,97	147,85	103,94	52,57	185,15	215,45	50,00
Zinc		1,81	2,48	12,12	21,81	17,75	12,14	15,98	9,65	23,00
Copper		1,16	0,86	1,15	1,16	1,28	1,17	1,67	2,23	3,00
Nickel		2,45	3,49	2,85	2,73	4,24	3,96	3,78	4,74	4,00
Lead		2,47	3,75	4,53	4,89	3,59	3,18	6,52	7,12	2,00
Chromium		1,83	3,72	2,41	5,16	5,67	5,24	6,92	6,23	6,00
Cadmium		0,17	0,19	0,52	0,63	0,63	0,42	0,57	0,73	0,70

The highest concentrations of heavy metal content were found in the lower reliefs, near the motorway adjoining the park, as well as on high slopes (Fig. 5).

The influence of the site position on various elements of relief and exposure on the soils properties to date has not been studied in detail yet.

The statistical processing of the results was ai-

med at revealing the relationship between the content of heavy metals and a number of indicators that could affect their accumulation: distance to the

highway, depth of the sample, the slope steepness and the average elevation of the selection point above the sea level.

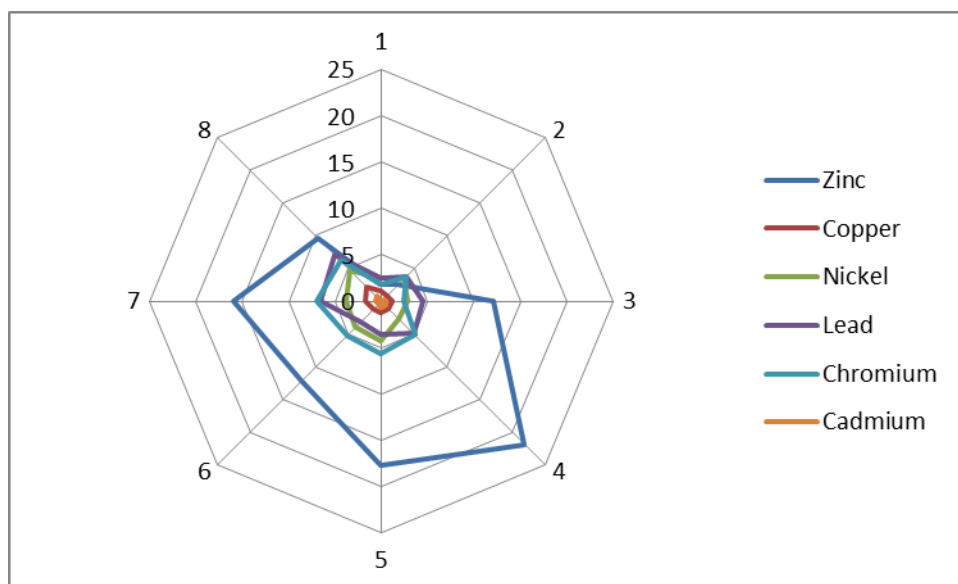


Fig. 5. Interpolation of heavy metals concentrations in depth (relative to the deepest point)

As a result of the conducted research, the ranking of factors (characteristics of soil samples) for the soil, iron, manganese, zinc, copper, nickel, lead, chromium and cadmium contents was performed. In the first place there is the height of the sampling point of the soil, in the second place there is the distance to the road, in the third – the slope steepness, and the fourth – the depth of sampling (Table 2).

Thus, we can conclude that distribution of heavy metals in the studied area mainly depends on the height of the terrain. That is, with the relief lowering substrate with metal-containing substances washes out and is removed with groundwater.

Based on our research, we can draw conclusi-

ons about the nature of heavy metals behaviour in the soils of the investigated area: they can be divided into two different groups. The first group includes copper, nickel, chromium, cadmium. Their content in the soil slightly changes with depth and practically does not depend on the landscape position of the point. Accumulation in the humus horizon is poorly expressed.

The second group includes iron, manganese, zinc and lead. These elements accumulate mainly in the humus horizon, which may be due to low humus content in the soils. Assessment of the territory condition is given in Table 3.

Ranking of factors (characteristics of soil samples)

Table 2

Performance indicators	Factors			
	height, m	distance to the road, m	cutslope ratio	depth, sm
	$x_5$	$x_3$	$x_4$	$x_1$
Iron content	1	3	4	5
Manganese content	1	3	5	4
Zinc content	5	3	1	2
Copper content	2	4	5	3
Nickel content	1	2	5	4
Lead content	2	3	4	5
Chromium content	1	4	2	3
Cadmium content	5	2	3	4
Mean value	2,25	3,00	3,63	3,75
<b>Factor rank</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>

Estimation of environment pollution by heavy metals

Elements	Class of danger	AC, mg/kg	Maximum concentration, mg / kg	AC excess, times	Type of environmental situation
Manganese	III	50	228,97	4,5	Crisis
Zinc	I	23	21,81	0,9	Satisfactory
Copper	II	4	4,74	1,2	Pre-crisis
Nickel	I	2	7,12	3,56	Crisis
Lead	II	6	6,92	1,15	Pre-crisis
Chromium	I	0,7	0,73	1,04	Pre-crisis

Today, there are a lot of research results on the harmful effects of heavy metals on the environment, methods for their identification and mapping in the literature. But the problem of preventing the accumulation of heavy metals in soils is not clearly represented; for the most part they are expensive and long-term measures.

In our opinion, phytoremediation is a promising direction in solving such problems [21-22]. Its significant advantage is that these measures are absolutely harmless to the environment. They are much cheaper than other methods and have substantial public support. With implementing of phytoremediation methods, there is less secondary pollution, physical and granulometric composition of soils does not deteriorate, biological activity does not decrease, and productivity is kept constant. This technology is most convenient for cleaning of moderately polluted soils, which is well suited to our case. Such technology is absolutely safe from the ecological point of view, as it does not destroy the natural fertility of the soil, reduces the soil erosion and increases its aeration. Such processes stimulate soil

microflora to decompose organic contaminants and promote the absorption of harmful substances by the plant.

**Conclusions.** The landscape-ecological approach is currently used in solving many scientific problems, both theoretical and practical. For example, in the area of sustainable development of territories, which is an integral part of nature use optimization, the agro-landscapes management is used, as well as in the district method of forest management.

The landscape-ecological method as a component of the district method is used in national parks and nature reserves to ensure the conservation and, if necessary, in the restoration or reconstruction of indigenous forest ecosystems, increase of ecological, scientific, recreational value of forest landscapes, their socio-economic use.

The main goal of developing such methods is collection, systematization, analysis and processing of high-quality and reliable information as a result of complex landscape-ecological analysis of territories, as well as forecasting of environmental problems and ways of their solution or prevention.

#### References

1. Сінна О.І. Ландшафтно-екологічне картографування регіонального рівня: сутність та сучасні напрями // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis\\_64.exe](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgiirbis_64.exe)
2. Концепція багатомасштабової Національної ГІС України / Руденко Л.Г., Чабанюк В.С., Бондар А.Л. [та ін.] // Матер. Наук.-практ. семінару з геоінформ. систем, 1993р., Вінниця. – К., 1994. – С. 4-33.
3. Пересацько В.А. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи: монографія / В. А. Пересацько; Харківський національний ун-т ім. В.Н. Каразіна. – 2009. – 242 с.
4. Пересацько В.А. Наукові основи регіонального еколого-природоохоронного картографування.: автореферат дис. ...д-ра геогр. наук. 11.00.12. / В.А. Пересацько. – 2009. – 40 с.
5. Черваньов І.Г. Моделі геодинаміки рельєфу в дослідженнях і розробках Харківської геоморфологічної школи // Геополітика и екогеодинамика регионов. 2007. – Т.3 – в.2. – С. 39-44.
6. Пересацько В. А. Картографічні твори як основа створення регіональної еколого-географічної ГІС / В.А. Пересацько // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії : зб. наук. праць. – Вінниця: Антекс-УЛТД, 2004. – Вип. 4. – С. 222-226.
7. Ehlers M., Edward G., and Bedard Y., (1989). *Integration of Remote Sensing with Geographic Information systems: A Necessary Evolution. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 55, No. 11.*
8. *Geoenvironmental Mapping - Methods, Theory and Practice. Edited by P.T. Bobrowsky, 2001. A.A. Balkema Publishers, P.O. Box 1675, 3000 BR Rotterdam, The Netherlands; 725 pages, hardback.*
9. Oosterom P. *Research and development in 3D cadastres [Text] / P. Oosterom // Environment and Urban Systems. 2013. – Vol. 40, N. 1. – P. 1-6.*
10. Исаченко Г. А. *Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование / Г. А. Исаченко. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999.*

11. Остапенко Б.Ф. Оптимізація лісомеліоративного комплексу в агроландшафтах Лісостепу / Б.Ф. Остапенко, В.П. Ткач, В.П. Пастернак // Ґрунти України. – X., – 1996. – 50 с.
12. Одум Ю. Экология / Ю. Одум // в 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328с., Т.2. – 376 с.
13. Воробьев Д.В. Экологические основы лесоразведения / Д.В. Воробьев, Б.Ф. Остапенко: уч. пос. X., – 1981. – 108с.
14. Остапенко Б.Ф. Лесоводственно-экологическая типология и ее классификационная система: лекция / Б.Ф. Остапенко. – ХСХИ, – 1978. – 69с.
15. Холуляк К.Л. Устройство противоэрозионных лесных насаждений / К.Л. Холуляк. – М.: Лесная промышленность. – 1972. – 152 с.
16. Кузьмичев В.П. Оценка уровня эффективного плодородия почв / В.П. Кузьмичев // Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – М.: ГУГК, 1978. – С. 124 – 125.
17. Остапенко Б.Ф. Парки Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва / Б.Ф. Остапенко, І.Й. Ситнік // Харк. нац. аграр. ун-т. – Харків, 2011. – 184с.
18. Ситнік І.Й. Професор Б. Ф. Остапенко і зелена зона агроуніверситету / І.Й. Ситнік // Вісн. Харк. нац. аграр. ун-ту. Сер.: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. – 2013. – № 1. – С. 181-183. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau\\_grunt\\_2013\\_1\\_411](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_grunt_2013_1_411).
19. Дендрологічний парк. – Режим доступу: <https://knuu.kharkov.ua/dendropark.html>.
20. Решетченко С.І. Особливості розподілу атмосферних опадів на території Харківської області / С.І. Решетченко, Т.Г. Ткаченко // Вісн. ХНУ ім. В.Н. Каразіна: Сер.: «Геологія, географія, екологія». – №44, – 2016 р. – 148-152 с.
21. Кравець О.П. Сучасний стан та проблеми фітоочищення ґрунтів від радіонуклідів і важких металів / О.П. Кравець // Физиология и биохимия культ. растений. – 2002. – № 34(5). – С. 377–386.
22. Білецька В.А. Дослідження процесів трансформації водорозчинних форм важких металів при детоксикації промислових відходів природними сорбентами [Електронний ресурс] / В.А. Білецька, Н.Є. Яцечко, А.В. Павличенко // Наук.-техн. зб. «Розробка родовищ». – 2013. – Режим доступу: <http://rr.ntnu.org.ua/pdf/2013/20131016-52.pdf>.

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

UDC 631.95:504

**Volodymyr Opara,**

PhD (Technical Sciences), Professor,

V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [volodimiropara2019@gmail.com](mailto:volodimiropara2019@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2782-706X>;

**Iryna Buzina,**

PhD (Agriculture), Associate Professor

Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics

V. V. Dokuchayiv Kharkiv National Agrarian University,

Kharkiv region, Kharkiv district, «Dokuchaevske-2», 62483, Ukraine,

e-mail: [nezabudka120187@gmail.com](mailto:nezabudka120187@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0885-0558>;

**Dmytro Khainus,**

PhD (Economic), Associate Professor,

Department of Geodesy, Cartography and Geoinformatics,

V. V. Dokuchayiv Kharkiv National Agrarian University,

e-mail: [dmitry.khainus@gmail.com](mailto:dmitry.khainus@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6097-1464>

## LANDSCAPE-ECOLOGICAL INVESTIGATIONS MAPPING OF V. V. DOKUCHAYIV KHNAU ARBORETUM'S TERRITORY

**Formulation of the problem.** This article briefly describes the main problems that arise during landscape and ecological investigation of territories. On the example of V.V.Dokuchayiv KHNAU's arboretum the comparative and ecological method of estimating the soil conditions for the forest-based effect, i.e. species composition and productivity of indigenous forest vegetation groups is considered. The forest represents a system of vegetation and habitat. From the ecological point of view it is a reflection of the environment, as its forestry effect. The objective is also to justify measures aimed at solving urgent landscape and environmental problems, namely, transformation and pollution of the natural environment, the development of morphodynamic processes.

Soils, as the element of the landscape, are an important block of ecosystems whose destruction has a multidimensional value for the stability of the natural environment. Aggregate soil transformation has tradi-



tionally been evaluated as progressive. However, scientific analysis suggests that extensive farming, inappropriate chemical fertilization and fetishization of pesticides have led to a significant decline in fertility, and in some cases, its loss due to the development of erosion of natural soil cover on large areas. Such processes stimulate soil microflora to decompose organic contaminants and promote the absorption of harmful substances by the plant.

The landscape-ecological approach is currently used in solving many scientific problems: both theoretical and practical.

**The purpose of the article.** The purpose of this work was to study the landscape and ecological structure of the forest massif, to identify the relationship between the components of landscapes on the example of the V.V. Dokuchayiv KHNAU's arboretum by mapping the territory.

**Methods.** The authors' own achievements as well as the research results of domestic and foreign investigators made the methodical basis for the article.

**Results.** The content of heavy metals on the territory of the arboretum is investigated, a ranking of factors influencing the distribution of concentrations of pollutants has been carried out and the type of ecological situation is determined by means of mapping methods.

Modern and ecological methods of disturbed territories' restoration with the help of phytotherapeutic technologies, which are much cheaper and safer, are offered. When implementing phytoremediation methods, there is less secondary pollution, physical and granulometric composition of soils does not deteriorate, biological activity does not decrease, and productivity is kept constant. This technology is most convenient for cleaning of moderately polluted soils.

**Scientific novelty and practical significance.** One of the main mechanisms for regulating the ecologization of land resources is the identification, evaluation and implementation of the maximum possible reserves for increasing the efficiency of this process. This is reduction of unproductive losses in the mode of use and conservation of resources and the possibility of using the basic solution as a scientific and technological progress. Digital terrain models are designed for interactive visualization and have an effect of presence on the ground. Such models are used to substantiate measures to optimize land use in order to restore and stabilize the ecological situation, assess the natural recreational potential of the territory, monitor the components of the environment, predict transformation and degradation processes and environmental phenomena development.

**Keywords:** landscape-ecological investigations, cartography, edotopes, trophotops, edaphic grid, arboretum.

#### References

1. Sinna O.I. *Landshaftno-ekologichne kartografuvannya regionalnogo rivnya: sutnist ta suchasni napryamy*. Available at: [www.irbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis\\_64.exe?](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis_64.exe?)
2. Rudenko L.G., Chabanyuk V.S., Bondar A.L. [ta In.] (1994). *Kontseptsiya bagatotsilovoi Natsionalnoi GIS UkraYini [The concept of multipurpose National GIS of Ukraine]*. Vinnitsya, 4-33.
3. Peresadko V.A. (2009). *Kartohrafichne zabezpechennia ekolohichnykh doslidzhen i okhorony pryrody. [Cartographic support for environmental research and conservation]*, 242.
4. Peresadko V.A. (2009). *Naukovi osnovy rehionalnoho ekoloho-pryrodookhoronnoho kartohrafuvannia. [Scientific fundamentals of regional ecological and environmental mapping]*, 40.
5. Chervanov I.H. (2007). *Modeli heodynamiky reliefu v doslidzhenniakh i rozrobkakh Kharkivskoi heomorfologichnoi shkoly. [Models of geodynamics of relief in researches and developments of Kharkiv geomorphological school]*, 39-44.
6. Peresadko V.A. (2004). *Kartohrafichni tvory yak osnova stvorennia rehionalnoi ekoloho-heohrafichnoi HIS [Cartographic works as the basis for creation of regional ecological-geographical GIS]*, 222-226.
7. Ehlers M., Edward G., and Bedard Y. (1989). *Integration of Remote Sensing with Geographic Information systems: A Necessary Evolution. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, 11.
8. *Geoenvironmental Mapping – Methods, Theory and Practice* (2001). Edited by P.T. Bobrowsky, A.A. Balkema. Publishers, P.O. Box 1675, 3000 BR Rotterdam, The Netherlands, 725.
9. Oosterom P. *Research and development in 3D cadastres* (2013). *Environment and Urban Systems.*, 40, 1, 1-6.
10. Ysachenko G. A. (1999). *Metodi polevix landshaftnix yssledovanyj y landshaftno-ekologicheskoe kartografyuvannya. [Methods of field landscape research and landscape-ecological mapping]*. S.-Peterb, 3.
11. Ostapenko B.F., Tkach V.P., Pasternak V.P. (1996). *Optimizatsiia lisomeliorativnoho kompleksu v ahrolandshaftakh Lisostepu. [Optimization of the forest- ameliorative complex in agrolandscapes of forest steppe]*. Kharkiv, 50.
12. Odum Yu. (1986). *Ekolohiya [Ecology]*. Moskva, 376.
13. Vorobev D.V., Ostapenko B.F. (1981). *Ekolohicheskiye osnovi lesorazvedeniya [Ecological basis of afforestation]*. Kharkiv, 108.

14. Ostapenko B.F. (1978). *Lesovodstvoenno-ekolohycheskaia typolohyia y ee klassyfykatsyonnaia systema: lektsyia. [Forestry-ecological typology and its classification system].* Kharkiv, 69.
15. Kholupiak K.L. (1972). *Ustroistvo protyvoerozyonnikh lesnikh nasazhdenyi. [Device of anti-erosion forest plantings].* Moskva, 152.
16. Kuzmychev V.P. (1978). *Otsenka urovnia efektyvnogo plodorodyia pochv. [Assessment of the level of effective soil fertility].* Moskva, 124–125.
17. Ostapenko B.F., Sytnik I.I. (2011). *Parky Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu im. V.V. Dokuchaieva. [Parks of V.V. Dokuchayiv Kharkiv National Agrarian University].* Kharkiv, 184.
18. Sytnik I.I. (2013). *Profesor B.F. Ostapenko i zelena zona ahrouniversytetu. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnu\\_grunt\\_2013\\_1\\_411](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnu_grunt_2013_1_411).* Kharkiv, 181-183.
19. *Dendrologichnyi park. Available at: [Dendrological Park]: <https://knau.kharkov.ua/dendropark.html>.*
20. Reshetchenko S.I., Tkachenko T.H. (2016). *Osoblyvosti rozpodilu atmosfernykh opadiv na terytorii Kharkivskoi oblasti. [Peculiarities of the distribution of atmospheric precipitation in the territory of Kharkiv region].* Kharkiv, 148-152.
21. Kravets' O.P. (2002). *Suchasnyy stan ta problemy fitoochyshchennya gruntiv vid radionuklidiv i vazhkykh metaliv. [Current status and problems of soils reclamation from radionuclides and heavy metals],* 34(5), 377–386.
22. Bilets'ka V.A., Yatsechko N.YE., Pavlychenko A.V. (2013). *Doslidzhennya protsesiv transformatsiyi vodorozchynnykh form vazhkykh metaliv pry detoksykatsiyi promyslovykh vidkhodiv pryrodnymi sorbentamy. [Investigation of heavy metals soluble forms transformation in detoxification of natural sorbents in industrial waste]* Available at: <http://rr.nmu.org.ua/pdf/2013/20131016-52.pdf>

UDC 556.12:551.5

*Mykola Ananiyovych Fedoniuk,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering,  
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,  
e-mail: [m.fedoniuk@lntu.edu.ua](mailto:m.fedoniuk@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>;

*Vitalina Volodymyrivna Fedoniuk,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering, Lutsk National Technical University,  
e-mail: [ecolutsk@gmail.com](mailto:ecolutsk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1880-6710>;

*Vasyl Volodymyrovych Ivantsiv,*

PhD (History), Head of Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering, Lutsk National Technical University,  
e-mail: [ivv@email.ua](mailto:ivv@email.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4710-3245>

## POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF PRECIPITATION IN THE CITY (A CASE OF LUTSK)

**М. А. Федонюк, В. В. Федонюк, В. В. Іванців. МОЖЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ОПАДІВ У МІСТІ (НА ПРИКЛАДІ ЛУЦЬКА).** Розглянуто можливості удосконалення системи екологічного моніторингу атмосферних опадів у місті в процесі створення недержавної мережі пунктів спостереження за кількісними фізико-хімічними показниками, що характеризують динаміку їх випадання, суми, кислотність, мінералізацію. Проаналізовано сучасну організацію системи моніторингу атмосферних опадів та їх хімічного складу. Подано аналіз наукових публікацій, присвячених питанню спостережень за фізико-хімічними параметрами опадів в контексті їх впливу на екологічний стан навколишнього середовища.

Описано результати власних спостережень за такими показниками, як кислотність, мінералізація та суми опадів у місті Луцьку. Виявлено окремі просторові та сезонні відмінності розподілу цих показників. Вказані окремі недоліки існуючої системи державного моніторингу, що здійснюється гідрометеорологічними підрозділами, і виділено критерії створення удосконаленої схеми локального моніторингу дощових вод.

Обґрунтовуються принципи розміщення постів спостережень по відношенню до районів житлової і промислової забудови. Описано особливості програми моніторингу показника рН опадів: зокрема, вказано на необхідність врахування ряду супутніх факторів (температури дощової та талої снігової води, загальної мінералізації, тривалості випадання опадів). Розглянуто перспективи і можливості впровадження запропонованої системи моніторингу та її автоматизації. Представлені розроблені авторами карти розподілу кислотності опадів у місті Луцьку, картосхему локальної моніторингової мережі. Оцінено можливість автоматизації пунктів контролю атмосферних опадів, окреслено перспективи використання зібраної таким чином інформації для науковців, а також у практичній сфері (міські комунальні служби, транспортні служби, ремонтні підрозділи по обслуговуванню електромереж).

Запропонована схема розміщення постів екологічного моніторингу кислотності та інших супутніх показників, що характеризують хімічний склад атмосферних опадів, була розроблена із урахуванням переважаючого напрямку надходження повітряних мас, рози вітрів, а також специфіки міської забудови та розміщення промислових зон у обласному центрі. Встановлення в межах міста відповідно обладнаних пунктів мережі екологічного моніторингу дасть змогу оперативно відстежувати та аналізувати важливі показники якості оточуючого середовища. Це сприятиме, в тому числі, і покращенню якості життя людей, що проживають в місті.

**Ключові слова:** опади, урбоєкосистеми, просторовий розподіл, екологічний моніторинг, кислотність опадів, мінералізація опадів, пункт контролю, Луцьк.

**Н. А. Федонюк, В. В. Федонюк, В. В. Іванців. ВОЗМОЖНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ГОРОДЕ (НА ПРИМЕРЕ ЛУЦКА).** Рассмотрены возможности усовершенствования экологического мониторинга атмосферных осадков в городе в процессе создания негосударственной сети пунктов наблюдения за количественными физико-химическими показателями, которые характеризуют динамику их выпадения, суммы, кислотность, минерализацию. Проанализирована современная организация системы мониторинга атмосферных осадков и их химического состава. Представлен детальный анализ научных публикаций, посвященных вопросу наблюдений за физико-химическими параметрами осадков в контексте их влияния на экологическое состояние окружающей среды.

Описаны результаты собственных наблюдений за такими показателями, как кислотность, минерализация и суммы осадков в городе Луцке. Выявлены отдельные пространственные и сезонные различия распределения этих показателей. Указаны отдельные недостатки существующей системы государственного мониторинга, осуществляемого гидрометеорологическими подразделениями, и выделены критерии создания усовершенствованной схемы локального мониторинга дождевых вод.

Обосновываются принципы размещения постов наблюдений по отношению к районам жилой и промышленной застройки. Описаны особенности программы мониторинга показателя рН осадков; указана необходимость учета ряда сопутствующих факторов (температуры дождевой и талой снеговой воды, общей минерализации, продолжительности выпадения осадков). Рассмотрены перспективы и возможности внедрения предлагаемой системы мониторинга и ее автоматизации. Представлены разработанные авторами карты распределения кислотности осадков в городе Луцке, картосхема локальной мониторинговой сети. Осуществлена оценка возможности автоматизации пунктов контроля атмосферных осадков, описаны перспективы использования собранной таким образом информации для научных работников, а также в

*практической деятельности (городские коммунальные службы, транспортные службы, ремонтные подразделения, обслуживающие электросети).*

*Предложена схема размещения постов экологического мониторинга кислотности и других сопутствующих показателей, которые характеризуют химический состав атмосферных осадков. Эта схема была разработана с учетом преобладающего направления циркуляции воздушных масс, розы ветров, а также специфики городской застройки и размещения промышленных зон в областном центре. Установка в пределах города соответственно оборудованных пунктов сети экологического мониторинга позволит оперативно отслеживать и анализировать важные показатели качества окружающей среды. Это будет способствовать, в том числе, и улучшению качества жизни людей, проживающих в городе.*

*Ключевые слова: осадки, урбоэкосистемы, пространственное распределение, экологический мониторинг, кислотность осадков, минерализация осадков, пункт контроля, Луцк*

**Formulation of the problem.** Atmospheric precipitation, their dynamics, physical and chemical composition, the seasonal distribution is a significant factor affecting a number of geochemical and ecological processes in the lithosphere and hydrosphere. Global climatic changes observed over the past decades have also affected the dynamics of rainfall, their spatial-geographical and temporal distribution. Investigating of the nature and main trends of such changes, their influence on transformations occurring in landscape complexes is an important task.

The dynamics of precipitation in urban ecosystems, as a rule, has its own specifics. The city is an "island of heat" and a dynamic obstacle to the air masses, so urban areas are characterized by the fall-out of higher rainfall than adjacent territories. The variability of other meteorological phenomena in the city, which are interrelated with precipitation (terrestrial hydrometeors, thunderstorms, etc.), is also significantly increasing.

Rain water largely determines the ecological state of the urban landscapes, architectural complexes, reservoirs, green areas, parks and squares, household farms. Indirect rainfall can also affect the quality of life and health of the urban population.

The peculiarities of the chemical composition of atmospheric precipitation also depend to a large extent on the features of the arrangement of cleaning systems on the collectors of city sewage drainage.

Therefore, the monitoring of qualitative and quantitative characteristics of atmospheric precipitation and thawed waters is an important element in the system of environmental monitoring. At the same time, in cities such monitoring has its own peculiarities - due to the occurrence of specific meteorological conditions, the presence of powerful sources of atmospheric pollution, vulnerability of components of the urban environment, etc.

**Analysis of previous research (dealing with this problem).** One of the most important (though the simplest measured) indicators of the chemical composition of precipitation is the pH level, which characterizes their acid-base properties. The increased attention to the precipitation acidity was formed in the 1960-1970s, when the link between anthropogenic emissions of sulfur and nitrogen acid

residues and acid rainfall was evident. Since then, specialized networks of atmospheric air monitoring were formed, which had to track the formation and spread of such phenomena.

Lennart Granat in 1972 [1] analyzed over 2,000 rain samples from the countries of Northern and Western Europe. As a result, the empirical dependence of pH on the chemical composition of rainwater (based on the content of acids and bases) is established. A model has been constructed that found a reliable link between the sums of bases (alkalinity) and the pH value in the range from 3.8 to 6.4 (from -90-100 at pH 3.8-4.0 to +50 + 70 at pH 6.3-6.4). At the same time, it was found that relatively small deviations from the natural values of the content of sulfate or nitrate acid residues cause an imbalance of the acid-base equilibrium. Important in this case also has the content of bicarbonate (hydrocarbon-calcium equilibrium).

J. Morgan (1982) described in detail the basic chemical reactions that contribute to the formation of precipitation acidity [2]. Among the main components that influence the pH of rainwater, sulfate and nitric acids with precursor oxides, as well as  $\text{NH}_3$  and  $\text{CaCO}_3$  are isolated, among the minor ones are weak organic acids and weak bases based on the oxides of the most common metals. The contribution of anthropogenic sulfur and nitrogen oxides to acidification of rainwater is estimated at 0.5-1.5 in relation to background values. In the paper [3] a decrease in pH was observed in connection with the increase in the  $\text{CO}_2$  content in the atmosphere. It has been argued that over the past 200 years, the pH of rainwater has averaged from 5.68 to 5.62, and in 2100, at 700 ppmv  $\text{CO}_2$ , it may be 5.49. This, at first glance, slight acidification will increase the solubility of carbonates by 25-30%.

However, the analysis of rainwater monitoring data in Europe over the past decade has shown a tendency to increase the pH. The maximum acid rain was observed in the 1970s and 1980s, and since the mid-1990s their incidence rates, as well as average acidity, are constantly decreasing. This trend is also fixed for Belarus [4, 5], and for Ukraine [6, 7], and for individual stations in Poland [8]. The obvious reason for such tendencies is the structural changes in the economy of the countries of both

Western and Central and Eastern Europe, which led to the closure or transfer of many large industrial enterprises, reducing the share of heavy industry and thermal energy, etc.

The spatial analysis of the chemical composition of atmospheric precipitation in the territory of Ukraine is given in the works of the scientists of the Kyiv National University. T. Shevchenko (V. Peleshenko, M. Romas, V. Khilchevsky, O. Kosovets-Skavrovska) and others. In particular, it was established that from 1963-2011's changes in mineralization were accompanied by a decrease in the composition of atmospheric precipitation of ions of anthropogenic origin and an increase in ions of mainly natural origin [9, 10].

But the pH of urban rainfall and the resulting storm water can often differ significantly from global and regional indicators. This is facilitated by, in particular, the presence of various coatings of buildings and road pavement [11, 12] significant pollution of urban air [2], a combination of large-scale and local meteorological factors [13]. Therefore, the monitoring of atmospheric precipitation in the city requires more detail in obtaining observational data and their scientifically substantiated analysis.

*Existing monitoring system.* Monitoring of the chemical composition of atmospheric precipitation is carried out at special stations of the Hydrometeorological Center of Ukraine and / or the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine.

To obtain adequate results, individual monitoring points should be merged into a single network which would ensure the comparability of the data received.

In Ukraine, according to the Central Geophysical Observatory, the measurement of precipitation acidity is carried out at 40 stations [7], in recent years their number varied within 37-46. In the Volyn region, there are weather stations Svityaz, Volodymyr-Volynsky, Lyubeshiv, Manevichi, and Lutsk, in the neighboring Rivne - weather station Sarny and Rivne. In the Republic of Belarus there are 22 monitoring points for the chemical composition of precipitation [5], in Poland, such a network brings together 23 monitoring points. In addition, observations on the acidity of precipitation are also carried out at specialized stations of integrated environmental monitoring and in some natural preservation sites.

The analysis of the location of the monitoring points for the chemical composition of rainwater in the border regions of Poland, Belarus and Ukraine (according to [14] [5] [7]) shows a greater density of the monitoring network in the Ukrainian territory. But in reality, regular monitoring of the pH of precipitation is carried out only on a part of these stations. The most complete monitoring program at the

Svityaz meteorological station, which (with the Rava-Ruska station in the Lviv region) is a trans-boundary air mass transfer research station.

The state network of environmental monitoring is characterized by a number of problems associated with outdated methods of collecting and processing information, inactivity in communicating this information to the end user, inadequate funding, which complicates or prevents in to modernization. Therefore, the need to create non-state monitoring networks is brewing. In this study, an attempt was made to substantiate the feasibility of developing and implementing such a local network for monitoring the environmental parameters of atmospheric precipitation and thawed waters on an example of a separate city - Lutsk.

The technology of carrying out such activities on the example of specific settlements of Ukraine is presented in the works of V.Yu. Mokin, S.M. Dzyuba, N.V. Belyanin, M.N. Prokopenko, S.O. Serovikov, M.A. Fedonyuk [15, 16, 4, 17] and other researchers.

But there are almost no special studies on a specialized network of local environmental monitoring of atmospheric precipitation and thawed waters in the city. This is an urgent task that requires detailed scientific analysis.

**The purpose of the research** - based on the analysis of literary sources and own monitoring researches to identify the features of the organization and implementation of environmental monitoring of atmospheric precipitation in urban areas, with the justification of the main parameters of observation and spatial placement of points created network.

**The results and the discussion.** In the course of the analysis of data from the observation posts of the Hydrometeorological Center of Ukraine, it was found that official statistical information is not enough for a comprehensive assessment of atmospheric pollution in cities. In Lutsk, for example, there are 3 stationary monitoring points for chemical pollution and one meteorological station, the location of which does not provide a complete picture of meteorological conditions and ecological status. The Lutsk Meteorological Station is located outside the town, on its southeastern edge, and the ecological control posts are located on the northern and eastern outskirts of the city and in the green park area of the city center. The entire left bank part (along the Styr River), the Southern industrial zone, and a number of locations of intense pollution in the center, western and north-western outskirts of Lutsk are not covered by monitoring.

For more complete and detailed information, from 2014 we conduct our own monitoring surveys of the environmental condition of the city. One of the first such works was the implementation of li-



chen indicator research in all major quarters of Lutsk. It is known that lichens are quite sensitive to atmospheric pollution, in particular to a number of acid oxides. Thus, the study of the species composition and the degree of coverage of the lichen trees enables to indirectly evaluate the content of certain pollutants and the precipitation acidity. The result of our work was, in particular, the environmental mapping of the atmospheric air in Lutsk based on lichen indicative studies [18].

To obtain more reliable quantitative indicators, we conducted a sampling of rain and thawed waters to determine their pH. Most measurements were made initially at 2 points in the left bank of the city (a distance of about 3.5 km), but on some days we managed to organize simultaneous sampling at 5-7 points in different neighborhoods. Part of the measurements was carried out directly at the monitoring points by portable pH meter 009 (I). Also, all samples were later analyzed by a professional pH meter AI-123 in the laboratory of the ecology department in the Lutsk NTU. It should be noted that, despite the declared function of ATC, measurements of the pH of cold rain water by a portable tester were sometimes found to be overestimated by 0.1-0.3 units.

The analysis of the obtained results suggests that precipitation in the studied period (end of 2015-beginning 2018) in Lutsk was predominantly (56% of samples) neutral or close to neutral (pH = 6-7), or

slightly acid (28%). In some cases (9.3%) a weakly alkaline reaction (8.0-8.25) was observed, in individual cases the pH was less than 5.0.

By comparing precipitation acidity among the seasons of the year and in separate months, it can be noted that periods with high pH are winter months, and the warm period is characterized by a slightly higher acidity of precipitation. During almost three years of observations, the lowest levels of pH were recorded during the summer-autumn of 2017 (an average of 5.912, a minimum of 4.804).

The highest acidity (and hence the lowest pH) in rainwater was noted mainly when the rain dropped out after a long rainless period. Such rains wash out of the air accumulated there contaminants, including acid oxides of sulfur, carbon and nitrogen.

To assess the content of dissolved substances in rainwater, the mineralization of the selected samples was also measured (using calibrated tds-3 tester). During the time of observations, the average value of mineralization of rainwater was 14.5 ppm, the minimum - 4 ppm, maximum - 108 ppm. A regularity was also confirmed in relation to increase of mineralization of precipitation with increasing duration of the previous rainless period.

The expected reverse dependence between the amount of precipitation and its mineralization (Figure 1) was revealed. The correlation coefficient between these indicators ranged from -0.52 to -0.83 (for different periods).

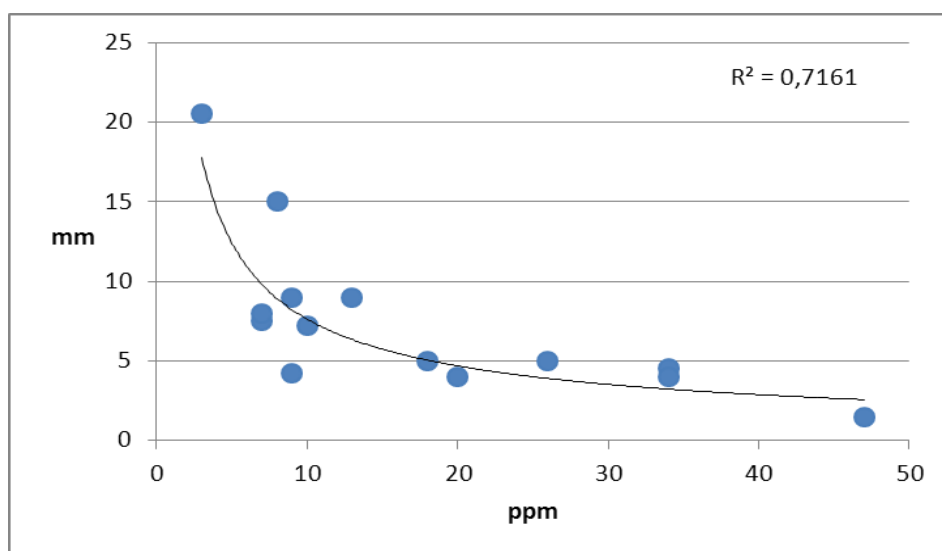


Fig. 1. Dependence of mineralization of rainwater on the amount of precipitation (average values for the period August-September 2018, Lutsk)

Our results of measurements (in terms of pH) were compared with the official data of the Hydrometeorological Center and were comparable to them. At the same time, the difference in the obtained values at separate points in the city was every time quite significant. For example, on 10.10.2015,

the measured pH values ranged from 5.99 in the western part of the city to 6.81 in the south (amplitude 0.82), on November 23, 2015 - from 6.44 in the park area in the flood plain of Styr River to 7.35 on the southern outskirts near the sugar factory (amplitude 0.91). The character of the distribution of indi-

cators also significantly differed (Fig. 2). Note that for the fresh snow, the amplitude of the pH indicators at different points was significantly lower -

within the range of 0.15-0.25. Obviously that the snow can not quickly dissolve and bring with it the same impurities as rainwater.

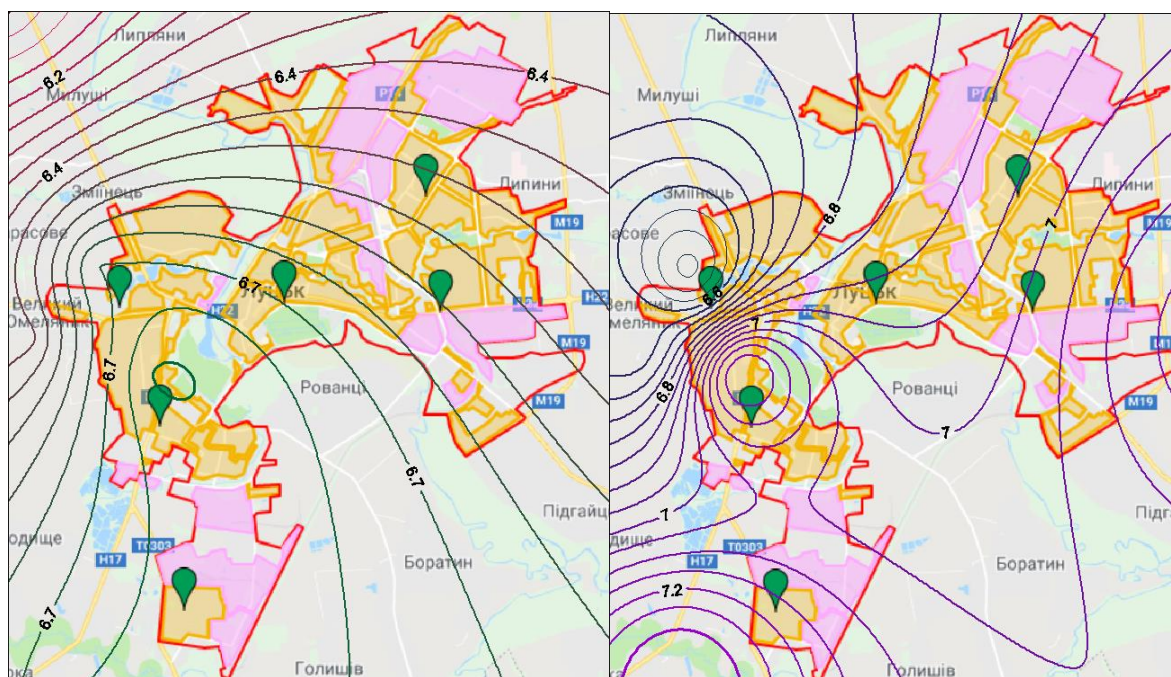


Fig. 2. Differences in the distribution of the pH of rainwater in Lutsk city under different conditions of precipitation (isolines built in GS Surfer according to data from 6 sampling points, October-November, 2015)

In these cases, a gradual increase in the pH of precipitation from the northwest to the southeast was observed more frequently (which coincides with the direction of movement of prevailing rain air masses). However, many times the distribution within the city was uneven, with separate local maxima and minima.

The conducted studies allowed to reveal a number of spatial patterns and to more clearly and reasonably design a network for monitoring the precipitation acidity in the city.

*Factors that are taken into account when planning a monitoring network.* The practical experience gained in determining the individual parameters of precipitation in the city, combined with the analysis of the relevant literary sources, allows us to distinguish a number of features necessary to be taken into account when organizing such monitoring.

*Time of sampling and averaging.* Previously, at state offices, the pH indicator was measured, averaged from all samples taken for a week or a month. Such practice is not suitable for detailed monitoring in the city; measurement of the parameters of each individual rain or snow is required. At the same time for heavy precipitation it is expedient to select two samples - initial and total. In most cases, the initial test has considerably other, more aggressive indicators [19], since it forms the so-called "firstflush" from a contaminated, yet not sufficiently washed

atmosphere. In some cases, it is advisable to carry out both direct measurements of pH at the place of selection and later measurements in laboratory conditions. Sometimes, for example, at high temperatures, after a long storage of the sample, partial evaporation and pH change within 2-10% may be possible.

*Related monitoring parameters.* Significantly facilitates further analysis and identification of causal, fixing of additional parameters - rainwater temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), its mineralization (TDS,  $\text{mg} / \text{dm}^3$  or ppm), rainfall (in mm). Of course, a complete chemical analysis allows for more detailed information, but it is too costly for daily monitoring. And the above parameters are easily measured by available portable devices.

Note that the determination of the temperature of rainwater is important for the correct setting of the pH. Since pH reflects the chemical potential of Hydrogen ions (in relation to the ions of the hydroxyl group OH), it can change significantly when the temperature of the solution changes. Typically, with decreasing temperature, the pH increases. As rainwater temperature is almost always low, its pH at the point of selection is higher than the index, which is fixed at standard conditions ( $+18-20^{\circ}\text{C}$ ). But it is important to evaluate both indicators. For example, storm sewage receives rain water "as is,"

and to filter or, if necessary, neutralize it in real conditions, the ratio of temperature and acidity.

*Meteorological conditions* are one of the main risk factors for the environmental safety of atmospheric precipitation [20].

For a reasonable estimation and forecast of the ecological characteristics of precipitation, it is important to simultaneously record a number of such meteorological characteristics: the duration of the previous rainless period, the air temperature, the presence of temperature inversion, the direction and velocity of air masses, and others like that.

One of the most important is the definition of the type / class of weather and the direction of

movement of rain air masses. For example, in the study P.Tanner (1999) found that the acidity of precipitation for 7 different types of weather may differ even by an order of magnitude (by the content of H<sup>+</sup>) [13].

For the studied territory, we have constructed diagrams of repeatability of precipitation depending on the direction of arrival of rain fronts and cloud systems (Fig. 3). For this purpose, a number of meteorological online services (SAT-24, windy.com, blitzortung.org) have been used, which allowed to be quite confident in tracking the direction and velocity of large air flows.

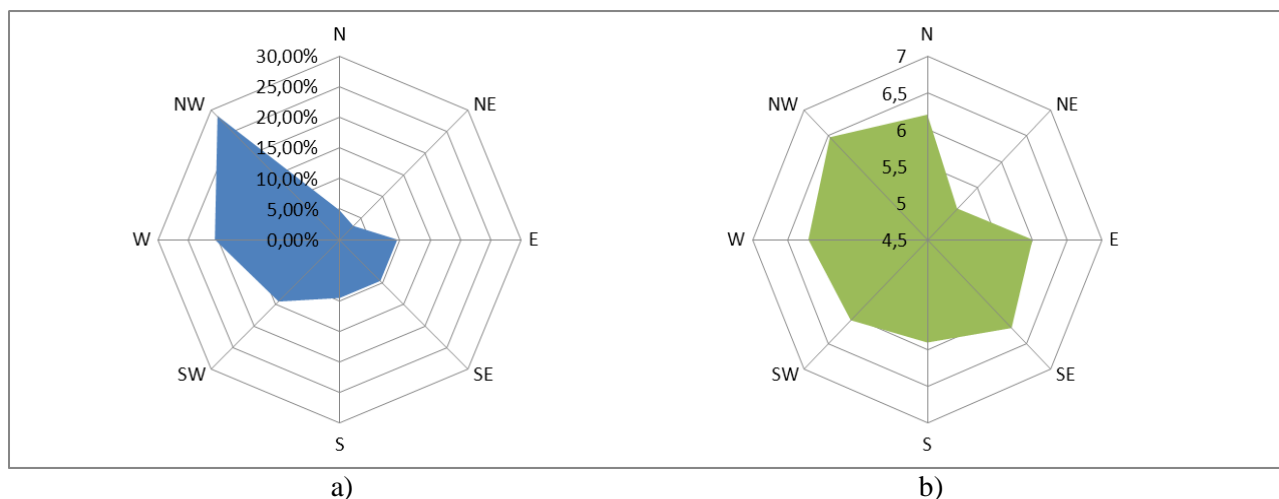


Fig. 3 Chart of repeatability of rainfall (a) and their pH (b), depending on the direction passage of atmospheric fronts and cloudy rain systems (for 2017)

The second figure shows the average pH for rainfall in different directions of clouds.

Analysis of these data contributes to the possibility of a partial forecast of the properties of the rain and its changes during the period of rainfalls crossing the city. Considering these diagrams is also important when choosing a place to post control over acidity and chemical composition of precipitation.

*Selection of locations for monitoring points.*

The proposed scheme for posting of ecological monitoring of acidity and other related indicators characterizing the chemical composition of atmospheric precipitation in Lutsk is developed taking into account the prevailing direction of air masses into our territory, "wind roses," as well as the specifics of urban development and the location of industrial zones in the regional center (Fig. 4).

Among the nine posts on which the regular sampling of rainwater for analysis is scheduled to take place, posts 1, 2, 3 can be attributed to the background: they are located, respectively, in the western, northwest and southwestern suburb of Lutsk, in these directions there are over 60% of the

trajectories of air masses and cloud systems with precipitation.

Observation post № 6 will play the role of control, since it will be located on the opposite outskirts of Lutsk.

Positions No. 5 and 9 are located practically in the center of the city, one of them - in the residential area of development, the other - in the park area near the main Styr River. Which, in particular, will allow control measurements of acidity and chemical composition of rainfall that flow from the roofs of buildings, for comparative analysis of their composition and properties with those rain and melt water entering the soil and surface water without prior contact with artificial surfaces and coatings.

Positions 3, 4, 7, 8 are located near the largest industrial zones, major enterprises, transport interchanges, in areas that are regularly suffering from traffic congestion due to excessive traffic load and an outdated system of road communications.

At four points (No. 1, 3, 8, as well as in one point outside the city, 4 km on the coast), we are already monitoring the pH, mineralization and rainfall. In case of successful development of the net-



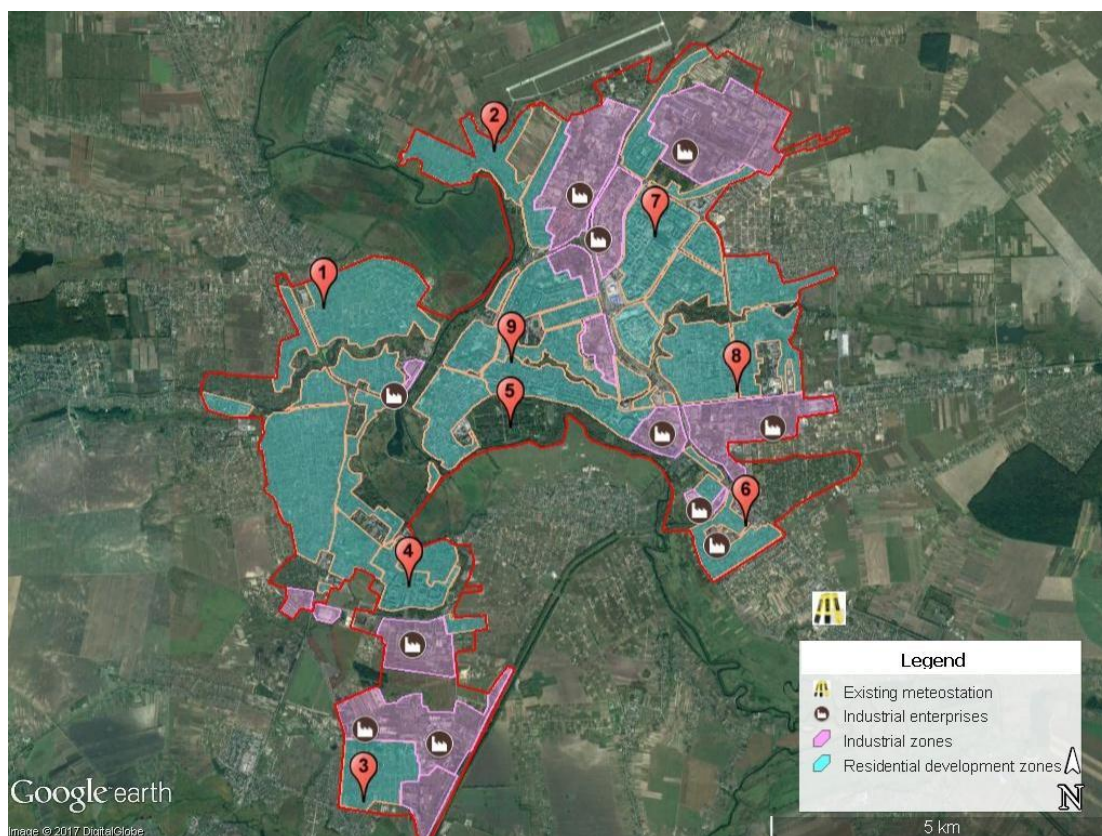


Fig. 4. Project placing of monitoring points in Lutsk.

work, organization of such monitoring is expected on the other mentioned posts.

Analysis of samples of rain and melt snow waters, selected at such points, will determine the presence or absence of anthropogenic impact on the chemical composition of precipitation, parameters of such impact, as well as develop a system of measures to optimize the environmental situation.

#### Conclusions.

1. The existing state air monitoring system often does not reflect the spatial differentiation of environmental parameters of atmospheric precipitation and needs to be improved. In addition, the creation of additional non-state specialized networks of monitoring of precipitation for the prompt informing of the population and interested organizations is also relevant.

2. Conducting own observations and measurements of individual parameters of atmospheric precipitation in the city allowed to reveal the dependence of the indexes of acidity and mineralization on the amount of precipitation, air pollution, directions of inflow of air masses, temperature, etc. The spatial differentiation of these indicators in the city is significant (the difference can reach up to 0.9 units of pH and 15-17 ppm of mineralization) and is related, first of all, to the distribution of anthropogenic emis-

sions and microclimatic differences.

3. When forming the system of environmental monitoring of precipitation in the city it is necessary to focus on the definition of such basic parameters: pH, total mineralization, amount of precipitation, and also concomitant - water and air temperature, direction of movement of air masses, carbon dioxide concentration, duration of the previous rainless period, etc. In the future, it is advisable to automate the measurement of these indicators by compiling a system for reading and rendering data from the corresponding sensors in real time.

4. When choosing sites for sampling or positioning of automatic control posts, it is necessary to consider such parameters as the direction of prevailing winds, the proximity of large stationary sources of emissions, landscape and geomorphological features, the nature of development, and the presence of green zones. In this case, it is expedient to consider the placement of such points on the near and far vicinity of the city (in relation to the arrival of prevailing air masses), on the leeward sides of large industrial zones or transport interchanges, in the largest green zone, near the main water reservoir, as well as in 2-3 neighborhoods of residential development.

### References

1. Granat L. On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation / L. Granat // *Tellus*, 1972. – 24:6. – P. 550-560, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v24i6.10682>
2. Morgan, J. J. Factors Governing the pH, Availability of H<sup>+</sup>, and Oxidation Capacity of Rain / J. J. Morgan // *Atmospheric Chemistry: Report of the Dahlem Workshop on Atmospheric Chemistry*. Dahlem Workshop Report. – 1982. – No. 4. Springer Verlag. – P. 17-40.
3. Bogan, R. A. Changes in rainwater pH associated with increasing atmospheric carbon dioxide after the industrial revolution / R.A. Bogan, S. Ohde, T. Arakaki, I. Mori, C.W. McLeod // *Water, Air, and Soil Pollution*, January 2009. – Volume 196, Issue 1-4. – P. 263-271.
4. Какарека С.В. Изучение химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях (на примере г. Минска) / С.В. Какарека, О.Е. Белькович, В.Н. Чудук. // *Вестник БГУ*. Сер. 2, 2010. – № 1. – С.90-94.
5. Козерук Б. Хімічний склад осадков і снежного покрива в Республіці Беларусь [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2017-god/himicheskiy-sostav-atmosfernyh-osadkov.html>
6. Будаєв І.В. Кислотність атмосферних опадів / І.В. Будаєв, В.А. Дячук, Н.В. Ніколаєва // *Національний атлас України – Київ, НВП «Картографія», 2007.*
7. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2016 році / Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО), Київ, 2017. – 47с.
8. Sawicka-Kapusta K. Air pollution in the base stations of the environmental integrated monitoring system in Poland / K. Sawicka-Kapusta, M.Zakrzewska, J.Gdula-Argasińska, G. Bydło // *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2005, Vol 82. *Air Pollution XIII*. – P. 465-475.
9. Косо́вцев-Скавронська О.О. Надходження хімічних речовин з атмосферними опадами на територію України та оцінка їх ролі у формуванні хімічного складу річкових вод : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / О.О. Косо́вцев-Скавронська / Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – К., 2010. – 20 с.
10. Хільчевський В.К. Хімічний склад атмосферних опадів на території України та його антропогенна складова / В.К. Хільчевський, С.М. Курило // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. – 2016. – Т. 4(43). – С.63-74.
11. Lee Y.J. Quality of roof-harvested rainwater e Comparison of different roofing materials / Y.J. Lee, Gippeum Bak, Mooyoung Han // *Environmental Pollution*, 2012. – 162, P.422-429.
12. Yaziz M. I. Variations in rainwater quality from roof catchments / M.I. Yaziz, H. Gunting, N. Sapari, A.W. Ghazali // *Water Research*, 1989. – Vol. 23, issue 6. – Pp. 761-765.
13. Tanner P. A. Relationships between rainwater composition and synoptic weather systems deduced from measurement and analysis of Hong Kong daily rainwater data / P.A. Tanner // *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1999. – V.33. – P. 219-240.
14. GIOŚ. Stan środowiska w Polsce. Sygnały 2016. – Warszawa, 2017. – 86p.
15. Федонюк М. А. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря / М. А. Федонюк. // *Державне управління: удосконалення та розвиток*. – 2013. – № 2. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Duiv\\_2013\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Duiv_2013_2_6).
16. Гео́екологічний моніторинг Хмельницької урбосистеми: [монографія / Дзюблюк Т. та ін.; за ред. проф. І. П. Ковальчука]. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2005. – 108 с.
17. Laquer F.C. An intercomparison of continuous flow, and automatically segmenting rainwater collection methods for determining precipitation conductivity and pH / F.C. Laquer // *Atmospheric Environment. Part A. General Topics. Volume 24, Issue 9, 1990*. – P. 2299-2306.
18. Федонюк В.В. Картографування екологічного стану повітряного басейну м. Луцька на основі ліхеноіндикації / В.В Федонюк, В.В Іванців, М.А Федонюк, О.В Іванців // *Часопис картографії*, №16, 2016. – С.259-270.
19. Deletic, A. The first flush load of urban surface runoff / A.Deletic // *Water Research. Volume 32, Issue 8, August 1998*. – P. 2462-2470.
20. Герещун Г. Аналіз ризикоформуючих факторів атмосферних опадів м. Чернівці / Г. Герещун, Ю. Масікевич // *Екологічна безпека*, № 2/2013 (16). – С. 40-43.

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



UDC 556.12:551.5

*Mykola Fedoniuk,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering,  
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,  
e-mail: [m.fedoniuk@lntu.edu.ua](mailto:m.fedoniuk@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>;

*Vitalina Fedoniuk,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering, Lutsk National Technical University,  
e-mail: [ecolutsk@gmail.com](mailto:ecolutsk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1880-6710>;

*Vasyl Ivantsiv,*

PhD (History), Head of Department of Ecology and Agronomy,  
Faculty of Environmental Studies, Tourism and Electrical Engineering, Lutsk National Technical University,  
e-mail: [ivv@email.ua](mailto:ivv@email.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4710-3245>

### POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF PRECIPITATION IN THE CITY (A CASE OF LUTSK)

**Formulation of the problem.** The environmental parameters of precipitation in the city often differ from the background values and require the special observations program. The existing state monitoring system does not reflect the spatial differentiation of such parameters in urban areas, so it needs to be improved.

**The purpose of the article:** to find out the features of organization and implementation of rainfall environmental monitoring in urban areas, with the justification of the main parameters of observation and spatial placement of network points.

**Methods.** The main results are based on the authors' experience in own observations on the amount, acidity and mineralization of precipitation in several quarters of Lutsk during 2015-2018.

**Results.** Own observations and mapping of individual parameters of atmospheric precipitation in the city allowed to reveal the dependence of the indexes of acidity and mineralization on the amount of precipitation, air pollution, directions of air inflow, temperature, etc. The spatial differentiation of these indicators in the city is significant (the amplitude can reach up to 0.9 units of pH and 15-17 ppm of tds) and is related to the distribution of anthropogenic emissions and some microclimatic differences.

Therefore, by organization the system of ecological monitoring of precipitation in the city it is necessary to focus on the definition of such basic parameters: pH, total mineralization, amount of precipitation, and also concomitant: water and air temperature, direction of airflows, carbon dioxide concentration, duration of the previous rainless period, etc.

To select the representative locations for the control of precipitation in the city, it is necessary to analyze the following indicators: direction of prevailing winds, landscape and geomorphological features, the proximity of the most sources of anthropogenic contamination, building types etc. In this case, the minimum monitoring scheme should include such control points: the near and far outskirts (in relation to the arrival of prevailing air masses), the leeward sides of large industrial zones or transport interchanges, the largest green zone, area near the city water body, and several points (1-3) in residential areas.

**Scientific novelty and practical significance.** The main parameters and principles of the spatial organization of environmental monitoring of rainwater in the city are identified. The algorithm for creation such network has been tested in Lutsk and can be used for realization in other cities. Automation of similar measurements based on microcontrollers will to create quality non-state monitoring networks with the display of data in real time.

**Keywords:** precipitation, urban ecosystems, spatial distribution, environmental monitoring, precipitation acidity, precipitation mineralization, monitoring station, Lutsk.

#### References

1. Granat, L. (1972). On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation. *Tellus*, 24(6), 550-560.
2. Morgan, J. J. (1982). Factors governing the pH, availability of H<sup>+</sup>, and oxidation capacity of rain. In *Atmospheric chemistry Springer, Berlin, Heidelberg*, 17-40.
3. Bogan, R. A., Ohde, S., Arakaki, T., Mori, I., & McLeod, C. W. (2009). Changes in rainwater pH associated with increasing atmospheric carbon dioxide after the industrial revolution. *Water, air, and soil pollution*, 196(1-4), 263-271.

4. Kakareka S., Belkovych O., Chuduk V. (2010). *Izuchenye khymicheskoho sostava atmosferynykh osadkov i snezhnogo pokrova na urbanizyrovannykh terytoryakh (na prymerе h. Mynska) [The study of the chemical composition of precipitation and snow cover in urban areas (by example of Minsk city)]*. Vestnyk BGU, Ser. 2., 1, 90-94.
5. Kozeruk B. (2014). *Chemical composition of precipitation and snow cover in the Republic of Belarus*. Available at : <http://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2017-god/himicheskyy-sostav-atmosfernuy-osadkov.html>.
6. Budak I., Dyachuk V., Nikolayeva N. (2007). *Map of precipitation acidity. – National atlas of Ukraine : e-version (DVD)*, Kyiv, SSPE "Kartographia".
7. *Ohlyad stanu zabrudnennya navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha na terytoriyi Ukrayiny za danymy spostere-zhen' hidrometeorolohichnykh orhanizatsiy u 2016 roci. [Review of the environmental pollution in Ukraine accord-ing to observations of hydrometeorological organizations in 2016]*. Available at : [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1).
8. Sawicka-Kapusta, K., Zakrzewska, M., Gdula-Argasi, J., & Byd, G. (2005). *Air pollution in the base stations of the environmental integrated monitoring system in Poland*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 82, 465-475.
9. Kosovets-Skavronska O.O. (2010). *Wet deposition of chemical substances in Ukraine and estimation of its contribu-tion to the formation of chemical composition of river water. – Manuscript*. Kyiv National Taras Shenchenko Uni-versity, Kyiv, 20.
10. Khilchevsky V, Kurilo S. (2016). *Chemical composition of precipitation in Ukraine and its anthropogenic compo-nent. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology: The scientific collection*, 4(43), 63-74.
11. Lee, J. Y., Bak, G., & Han, M. (2012). *Quality of roof-harvested rainwater—comparison of different roofing materi-als*. Environmental Pollution, 162, 422-429.
12. Yaziz, M. I., Gunting, H., Sapari, N., & Ghazali, A. W. (1989). *Variations in rainwater quality from roof catch-ments*. Water research, 23(6), 761-765.
13. Tanner, P. A. (1999). *Relationships between rainwater composition and synoptic weather systems deduced from measurement and analysis of Hong Kong daily rainwater data*. Journal of Atmospheric Chemistry, 33(3), 219-240.
14. GIOŚ. (2017). *Stan środowiska w Polsce. Sygnały 2016*. Warszawa. 86.
15. Fedoniuk M. (2013). *Do pytan'nya udoskonalennya systemy derzhavnoho ekolohichnoho monitorynhu stanu at-mosfernogo povitrya [On the issue of improving the state system of air environmental monitoring] Derzhavne up-ravlin'nya: udoskonalennya ta rozvytok*, 2. Available at : [nbuv.gov.ua/UJRN/Duur\\_2013\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Duur_2013_2_6).
16. Dzyublyuk T. Kovalchuk I. (ed.), Koltun O. (2005). *Geoekologichny monitoryng Khmelnytskoyi urbosystemy [Geo-ecological monitoryng of Khmelnytsk urbosystem]*. Lviv, 108.
17. Laquer, F. C. (1990). *An intercomparison of continuous flow, and automatically segmenting rainwater collection methods for determining precipitation conductivity and pH*. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 24(9), 2299-2306.
18. Fedoniuk V., Ivantsiv V, Fedoniuk M., Ivantsiv O. (2016). *Environmental state mapping of air basin town Lutsk based on lichen indication. Chasopys kartografiyi [Magazine of cartography]*, № 16, 259-271. Available at: [map-times.inf.ua/CH\\_16/24.pdf](http://map-times.inf.ua/CH_16/24.pdf).
19. Deletic, A. (1998). *The first flush load of urban surface runoff*. Water research, 32(8), 2462-2470.
20. Geretsun G., Masikevich Yu. (2013). *An analysis of the risk-forming factors of atmospheric precipitations in Chernivtsi. Ekologichna bezpeka [Ecological safety]*, 2(16), 40-43.

## 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 тематиці.

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 (відображати 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, Гімназійна 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 докембрійского фундамент 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 50

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 28.05.2019 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 20,2. Обл.–вид. арк. 23,4.  
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.