

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 № 12 від 26.11.2018 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. *А. П. Голіков*; д. геогр. н., проф. *С. В. Костріков*; 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, геоекології та безпеки життєдіяльності *А. Г. Корнілов* (Белгородський державний національний дослідницький університет «БелГУ», РФ); д. геогр. н., проф., декан факультету гірської справи та природокористування *О. М. Петін* («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;

сайт: <http://journals.uran.ua/geoeco>, <http://periodicals.karazin.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.

Golikov Arthur – Doctor of Geography, Professor, Professor of the Faculty of International Economic Relations, Department of International Economic Relations and Tourist business, 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 Illya – 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).

Petin Oleksandr – Doctor of Geography, Professor, Dean of the Faculty of Mining and Natural Resources, 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

| | |
|---------------------------------------|---|
| ДО ЮВІЛЕЮ Іллі Михайловича ФІКА | 8 |
|---------------------------------------|---|

ГЕОЛОГІЯ

Барташук О. В., Суярко В.Г.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ГОРИЗОНТАЛЬНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГЕОМАС У КОНТИНЕНТАЛЬНИХ РИФТОГЕННИХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО- ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ). ЧАСТИНА 1. СТРУКТУРНІ ПРОЯВИ ТЕКТОНІЧНОЇ ТЕЧІЇ У ПОВЕРХНІ ФУНДАМЕНТУ | 10 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Бучинська І. В., Шевчук О. М., Побережський А. В.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ ПІСКОВИКІВ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ | 24 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Narasymchuk V. Ju., Medvid H. B., Teleguz O. V., Kost' M. V.

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| THE HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VOLYN-PODILLYA OIL AND GAS-BEARING REGION | 38 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|

Доротяк Ю. Б.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| БІОСТРАТИГРАФІЧНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ ВЕРХНЬОЮРСЬКИХ ТА НИЖНЬОКРЕЙДОВИХ (ОКСФОРД - НИЖНІЙ БЕРІАС) ВІДКЛАДІВ ГІРСЬКОГО КРИМУ ЗА ФОРАМІНІФЕРАМИ | 49 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Колодій І. В., Медвідь Г. Б.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЬОКРЕЙДОВОГО ТЕРИГЕННОГО КОМПЛЕКСУ КАРКІНІТСЬКО-ПІВНІЧНОКРИМСЬКОГО ПРОГИНУ В АСПЕКТІ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ | 59 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Космачов В. Г., Космачова М. В.

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| ЧЕТВЕРТИННИЙ ВУЛКАНІЧНИЙ ПОПІЛ ХАРКІВЩИНИ | 70 |
|-------------------------------------------------|----|

Любчак О. В., Хоха Ю. В., Яковенко М. Б.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СПІВВІДНОШЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СКЛАДОВОЇ АРГІЛІТІВ СХІДНИХ КАРПАТ ЗА ФОРМАЛІЗМОМ ДЖЕЙНСА | 83 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

ГЕОГРАФІЯ

Zatula V. I.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DECOMPOSITION AND MODELLING OF THE ANNUAL CYCLE OF METEOROLOGICAL VARIABLES IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS | 95 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Kostrikov S. V., Niemets L. M., Sehida K. Yu., Niemets K. A., Morar Cezar

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| GEOINFORMATION APPROACH TO THE URBAN GEOGRAPHIC SYSTEM RESEARCH (CASE STUDIES OF KHARKIV REGION) | 107 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Лаврик О. Д., Максютов А. О., Цимбалюк В. В.

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| АСИМЕТРІЯ І СИМЕТРІЯ ДОЛИННО-РІЧКОВИХ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ | 125 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|

*Niemets L. M., Mezentsev K. V., Sehida K. Yu., Morar Cezar,
Husieva N. V., Peresadko V. A., Telebienieva Ye. Yu.*

INNOVATION AND INVESTMENT POTENTIAL OF REGION AS A FACTOR OF ITS
"SMART TRANSFORMATION" – A CASE STUDY OF KHARKIV REGION (UKRAINE) 137

Reshetchenko S. I., Klymenko V. G., Cherkashyna N. I., Buznytskyi B. S.

IDENTIFICATION OF SOLAR RADIATION EFFECT
ON CLIMATIC INDICATORS OF THE TERRITORY OF UKRAINE 160

Щеглов О. А.

ЗИМОВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ФОРМУЮТЬ ЗНАЧНІ
ЗА ПЛОЩЕЮ ОСЕРЕДКИ З АНОМАЛЬНО-НИЗЬКОЮ
ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У СХІДНІЙ ЄВРОПІ 169

ЕКОЛОГІЯ

Гостюк З. В., Мельник А. В.

ОСОБЛИВОСТІ ЛАНДШАФТНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ
ЛІСОПАТОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ШЕШОРСЬКОМУ
ПРИРОДООХОРОНОМУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОМУ ВІДДІЛЕННІ
НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГУЦУЛЬЩИНА» 178

Овчаренко А. Ю., Залюбовська О. В.

ІНДИКАТИВНИЙ ЛАНДШАФТНИЙ МОНІТОРИНГ НАЦІОНАЛЬНИХ
ПРИРОДНИХ ПАРКІВ (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ НПП «СЛОБОЖАНСЬКИЙ») ... 190

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ,
ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» 206**

CONTENTS

CHRONICLE

| | |
|--------------------------------------------|---|
| TO MARK THE ANNIVERSARY OF Il'ya FYK | 8 |
|--------------------------------------------|---|

GEOLOGY

Bartashchuk Oleksii, Suyarko Vasyl

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| HORIZONTALLY DISPLACED OF GEOMASSES IN THE CONTINENTAL RIFT STRUCTURES (ON THE EXAMPLE OF THE DNIPRO-DONETSK PALEORIFT). PART 1. STRUCTURAL MANIFESTATIONS OF TECTONIC FLOWS IN BASEMENT .. | 10 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Buchynska Irina, Shevchuk Olena, Poberezhskyy Andriy

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SANDSTONES BLOWOUT RISK IN THE SOUTH-WESTERN REGION OF LVIV-VOLYN COAL BASIN | 24 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|

Harasymchuk Vasyl, Medvid Halyna, Teleguz Olga, Kost' Mariia

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| THE HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VOLYN-PODILLYA OIL AND GAS-BEARING REGION | 38 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|

Dorotyak Yuliya

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BIOSTRATIGRAPHIC PARTITION OF THE UPPER JURASSIC AND LOWER CRETACEOUS (OXFORDIAN - LOWER BERRIASIAN) DEPOSITS OF THE CRIMEAN MOUNTAINS FOR FORAMINIFERS | 49 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Kolodiy Ivanna, Medvid Halyna

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER CRETACEOUS TERRIGENOUS COMPLEX OF THE KARKINIT-NORTHERN CRIMEAN DEEP IN THE ASPECT OF ITS POTENTIAL FOR OIL AND GAS PRESENCE | 59 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Kosmachov Volodymir, Kosmachova Mariya

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| QUATERNARY VOLCANIC ASH OF KHARKIV REGION | 70 |
|-------------------------------------------------|----|

Lyubchak Olexandr, Khoha Yury, Yakovenko Myroslava

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CORRELATION OF THE HYDROCARBON COMPONENTS STRUCTURAL ELEMENTS OF THE EASTERN CARPATHIANS ARGILLITES BY THE JAYNES' FORMALISM | 83 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

GEOGRAPHY

Zatula Vasyl

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DECOMPOSITION AND MODELLING OF THE ANNUAL CYCLE OF METEOROLOGICAL VARIABLES IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS | 95 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Kostrikov Sergiy, Niemets Liudmyla, Sehida Kateryna, Niemets Kostyantyn, Morar Cezar

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| GEOINFORMATION APPROACH TO THE URBAN GEOGRAPHIC SYSTEM RESEARCH (CASE STUDIES OF KHARKIV REGION) | 107 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Lavryk Oleksandr, Maksiytov Andrii, Tsymbaliuk Valentyna

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ASYMMETRY AND SYMMETRY OF VALLEY-RIVER OF LANDSCAPE AND TECHNICAL SYSTEMS | 125 |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Niemets Liudmyla, Mezentsev Kostyantyn, Sehida Kateryna, Morar Cezar, Husieva Nataliia, Peresadko Vilina, Telebieniava Ievgeniia</i> | |
| INNOVATION AND INVESTMENT POTENTIAL OF REGION AS A FACTOR OF ITS "SMART TRANSFORMATION" – A CASE STUDY OF KHARKIV REGION (UKRAINE) | 137 |
| <i>Reshetchenko Svitlana, Klymenko Valentina, Cherkashyna Nadyia, Buznytskyi Borys</i> | |
| IDENTIFICATION OF SOLAR RADIATION EFFECT ON CLIMATIC INDICATORS OF THE TERRITORY OF UKRAINE | 160 |
| <i>Shcheglov Oleksandr</i> | |
| WINTER SYNOPTIC PROCESSES THAT CAUSE LARGE ANOMALIES OF EXTREME-LOW AIR TEMPERATURES IN EASTERN EUROPE | 169 |

ECOLOGY

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Gostiuk Zoriana, Melnyk Anatoliy</i> | |
| FEATURES OF LANDSCAPE AND FOREST PATHOLOGY PROCESSES DIFFERENTIATION IN THE SHESHORY NATURAL SCIENTIFIC RESEARCH DEPARTMENT ("HUTSULSHCHNYNA" NATIONAL PARK) | 178 |
| <i>Ovcharenko Alina, Zaliubovska Oksana</i> | |
| INDICATIVE LANDSCAPE MONITORING OF THE NATIONAL NATURE PARK (Case study THE TERRITORY OF SLOBOZHANSKY NATIONAL NATURE PARK) | 190 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE "VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY" | 206 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Іллі Михайловича ФИКА



26 листопада виповнюється 70 років Іллі Михайловичу Фіку – знаному фахівцю в галузі розробки та геології родовищ вуглеводнів, доктору технічних наук, академіку Нафтогазової академії України, професору, лауреату Державної премії в галузі науки і техніки та завідувачу кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин нашого університету.

Ілля Михайлович Фик народився у м. Ківерці, що на Волині, у сім'ї робітників. Ще навчаючись у школі Ілля Михайлович мріяв стати геологом, захоплювався туризмом, брав участь у туристичних змаганнях та здобув I спортивний розряд з туризму. Тому після закінчення школи у 1966 році вступив на геологорозвідувальний факультет Івано-Франківської філії Львівського політехнічного інституту. У 1971 р. закінчив з відзнакою на той час вже Івано-Франківський інститут нафти та газу за спеціальністю «геофізичні методи пошуків та розвідки родовищ корисних копалин».

Професійне зростання Іллі Михайловича пов'язане з Українським науково-дослідним інститутом природних газів. Прийшовши в цей трудовий колектив молодим спеціалістом, він пройшов шлях від інженера до директора інституту УкрНДІгаз. У 1981 році захистив кандидатську дисертацію та отримав науковий ступінь канди-

дата геолого-мінералогічних наук. З 2000 р. – доктор технічних наук за спеціальністю «розробка нафтових та газових родовищ», захистив докторську дисертацію за актуальною науковою проблемою «Геолого-технологічні основи підвищення вуглеводневилучення з газоконденсатних родовищ».

У 2007 році Фик І. М. був призначений директором новоствореного інституту транспорту газу ДК «Укртрансгаз», яким керував до 2009 р.

Знаходив час ділитися досвідом та брати участь у підготовці майбутніх геологів. З 1995 р. працював професором кафедри геології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, а з 2006 р. – завідувачем кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин цього ж університету, суміщуючи викладацьку роботу з розв'язанням виробничих завдань.

Після виходу на пенсію у 2009 р. перейшов на посаду професора до Національного технічного університету «ХПІ», де у 2010 р. створив та очолив нову кафедру «Видобування нафти, газу та конденсату» по підготовці спеціалістів з розробки нафтогазових родовищ.

Ілля Михайлович має звання старшого наукового співробітника за спеціальністю «Свердловинна розробка нафтогазових родовищ» та звання

професора кафедри «Видобування нафти, газу та конденсату».

Наукові та виробничі досягнення І. М. Фика стосуються підрахунку запасів газу; розробки петрофізичної моделі залишкової газонасиченості пласту; вибору систем розробки газоконденсатних родовищ України; розробки нових систем підвищення вилучення вуглеводнів з пласта, ступінчатого сайклінг-процесу тощо. І. М. Фик – керівник та співавтор багатьох проектів розробки газових і газоконденсатних родовищ України, у тому числі Новотроїцького, Котелевського, Тимофіївського, Куличихінського, запроєктованих в режимі сайклінг-процесу; керівник та автор проектів розробки родовищ з важко видобувними запасами, зокрема проектів по збільшенню видобутку газу і конденсату із Шебенинської та Хрещищенської групи родовищ. У 2011-2018 р.р. Фик Ілля Михайлович за сумісництвом очолював наукові роботи в ТОВ «Карпатигаз», працюючи над збільшенням власного видобутку газу та конденсату з родовищ України. У науковому доробку вченого більше 400 наукових праць, зокрема три монографії, більше 350 статей, біля 50 авторських свідочств.

Ілля Михайлович веде активну педагогічну та організаційну діяльність. З 2014 р. за його ініціативи розпочато підготовку нафтогазових геологів-магістрів у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна, відкрито аспірантуру та розпочато підготовку докторів філософії з геології нафти і газу. І. М. Фик є співавтором та редактором підручників та автором біля 30 навчально-методичних та довідкових видань з геології нафти і газу та нафтогазопромислової справи. Є членом редколегій 4 фахових та галузевих видань в Україні, у тому числі фахового видання «Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія-Географія-Екологія», який входить у міжна-

родні наукометричні бази, у тому числі Web of Sciences.

І. М. Фик активно займається громадською діяльністю як член Енергетичної комісії Харківської обласної ради, а також член секції Наукової ради Міністерства освіти і науки України за фаховим напрямом «Технології видобутку та переробки корисних копалин».

Заслужений працівник Укргазпрому (1998р.). Нагороджений грамотою Мінпаливенерго, премією Української нафтогазової академії (1999, 2002 р.р.), Державною премією України в галузі науки і техніки (2006 р.). За вагомий внесок у підготовку висококваліфікованих фахівців для нафтогазової галузі України І. М. Фик нагороджений Грамотою Департаменту науки і освіти Харківської обласної державної адміністрації та Медаллю імені В. Н. Каразіна.

І. М. Фик разом з дружиною Ларисою Борисівною, педагогом за фахом, виховали двох синів: старший – Олександр, кандидат технічних наук, полковник; молодший – Михайло, кандидат технічних наук, працює в галузі розробки родовищ нафти і газу.

Щиро вітаємо Іллю Михайловича з ювілеєм! Ви відомі серед фахівців нафтогазової галузі не тільки України, а й інших країн, як талановитий організатор, висококваліфікований науковець з величезним досвідом практичної діяльності. Завдяки високому професіоналізму, безмежній відданості справі, оптимізму та наполегливості у досягненні поставлених цілей, доброзичливому ставленню, Ви здобули повагу та шану серед колег та студентів. Сподіваємось, що Ваші досвід, знання та виваженість будуть прикладом для молодого покоління ще багато років.

Прийміть наші найщиріші побажання міцного здоров'я, невичерпної енергії та наснаги у всіх Ваших добрих справах!

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

ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

Олексій Вацлавович Бартацук,

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, <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: vgusuyarko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>

ГОРИЗОНТАЛЬНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГЕОМАСИВІВ У КОНТИНЕНТАЛЬНИХ РИФТОГЕННИХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТА). ЧАСТИНА 1. СТРУКТУРНІ ПРОЯВИ ТЕКТОНІЧНОЇ ТЕЧІЇ У ФУНДАМЕНТІ

На інверсійних етапах еволюції континентальних геоструктур консолідовані породи цоколю набувають значної внутрішньої об'ємної тектонічної рухомості за рахунок структурно-речовинних перетворень і деформацій тектонічної течії. Механізми та масштаби структурних перебудов залежать від особливостей їх первинної тектонічної будови і геодинаміки, характеру інверсій полів тектонічних напруг, реології та інтенсивності стрес-метаморфічних деформацій гірських порід. Вторинні дислокації важливо враховувати при геотектонічних дослідженнях древніх внутрішньо-плитних грабен-рифтів, до яких належить Дніпровсько-Донецький палеорифт. Раніше, при вивченні системної організації його диз'юнктивної тектоніки, на підставі геометричного, кінематичного і генетичного аналізу структурних рисунків розломів, було показано, що рифтову розломно-блокову будову докембрійського фундаменту ускладнюють різновікові дислокації інверсійних етапів еволюції. Вони розглядаються результатом прояву механізму крихко-в'язкої деформації об'ємної тектонічної течії (рейдної деформації) магматичних і метаморфічних гірських порід. Формування структур тектонічної течії відбувається у перемінному геодинамічному полі напруг з переважанням тангенціальної складової за схемою прогресивної стрес-метаморфічної деформації.

Стаття є першою із трилогії, що продовжує дослідження з динамічної геотектоніки палеорифту, висвітлюючи кінематичні механізми і геологічні наслідки горизонтальних переміщень геомас консолідованих гірських порід фундаменту і осадочного чохла. Вивчено морфолого-генетичні типи, тектонічну позицію і кінематичні механізми формування вторинних деформаційних структур тектонічної течії субрегіонального і зонального масштабів, розміром від десятків до сотень кілометрів, які ускладнюють його рифтогенний розломно-блоковий рельєф. Аналізовано їх відображення в локальних аномаліях магнітного і гравітаційного геофізичних полів, а також у вертикальних амплітудах новітніх (голоценових) тектонічних рухів. Показано їх системну, структуроутворюючу / трансформуючу роль на колізійному етапі еволюції континентальної земної кори.

Ключові слова: рейдна деформація, структури тектонічної течії, горизонтальні переміщення геомасивів, кінематика, структурні парагенези.

А. В. Бартацук, В. Г. Суярко. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕОМАСИВОВ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТОГЕННЫХ ГЕОСТРУКТУРАХ (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА). ЧАСТЬ 1. СТРУКТУРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ФУНДАМЕНТЕ. *На инверсионных этапах эволюции континентальных геоструктур породы цоколя приобретают значительную внутреннюю объемную тектоническую подвижность за счет структурно-вещественных преобразований и деформаций тектонического течения. Механизмы и масштабы структурных перестроек зависят от особенностей их первичного тектонического строения и геодинамики, характера инверсий полей тектонических напряжений, реологии и интенсивности стресс-метаморфических деформаций горных пород. Вторичные дислокации важно учитывать при геотектонических исследованиях древних внутриплитных грабен-рифтов, к которым относится Днепровско-Донецкий палеорифт. Ранее, при изучении системной организации его диз'юнктивной тектоники, на основании геометрического, кинематического и генетического анализа структурных рисунков разломов, было показано, что рифтовое разломно-блоковое строение докембрійского фундамента осложняют разновозрастные дислокации инверсионных этапов эволюции. Они рассматриваются как результат проявления механизма хрупко-вязкой деформации объемного тектонического течения (рейдной деформации) магматических и метаморфических горных пород. Формирование структур тектонического течения происходит в переменном геодинамическом поле напряжений с преобладанием тангенциальной составляющей по схеме прогрессивной стресс-метаморфической деформации.*

Статья является первой из трилогии, которая продолжает исследования динамической геотектоники палеорифта, освещая кинематические механизмы и геологические последствия горизонтальных перемещений геомасс консолидированных горных пород фундамента и осадочного чехла. Изучены морфолого-генетические типы, тектоническая позиция и кинематические механизмы формирования вторичных деформационных структур тектонического течения субрегионального и зонального масштабов, размером от десятков до сотен километров, которые осложняют его рифтогенный разломно-блоковый рельеф. Проанализировано их отражение в локальных аномалиях магнитного и гравитационного геофизических полей, а также в вертикальных амплитудах новейших (голоценовых) тектонических движений. Показано их системную, структурообразующую / трансформирующую роль на коллизионном этапе эволюции континентальной земной кори.

Ключевые слова: рейдная деформация, структуры тектонического течения, горизонтальные перемещения геомасивов, кинематика, структурные парагенезы.

Вступ. Дніпровсько-Донецький палеорифт (ДДП) є крупною регіональною геоструктурою Сарматської плити, розташованою у південно-східній частині Східно-Європейської платформи, яка тривалий геологічний час формувалась на фоні контрастних геодинамічних обстановок у континентальній земній корі, що змінювались, охоплюючи наступні послідовні етапи структурної еволюції кори: 1- палеопротерозойську колізію літосферних плит Фенноскандії і Сарматії із загальним стисканням та об'єднанням в єдиний геомасив первісних мегаблоків Українського щита (УЩ) і Воронезької антеклізи (ВА); 2- епіконтинентальний рифтогенез на протязі неопротерозою (ранній рифей)- палеозою (пізній девон-ранній карбон), що відбувався в режимі розсування із наступним розігрівом "холодної" літосфери Сарматської плити мантійними плюмами і формуванням грабен- рифтової структури над новоствореним "мантійним вікном" у континентальній земній корі; 3- внутрішньо-платформний пізньо-герцинський тектогенез з формуванням у континентальному осадовому басейні лінійних складчастих зон на тлі компенсованого синеклізного прогинання; 4- мезо-кайнозойську активізацію на фоні загально-плитного колізійного стискання внаслідок меридіонального переміщення Африканської і Аравійської плит, що супроводжувалось деформаційним структуроутворенням у переважно зсувному полі геодинамічних напруг [1,2,3]. Таким чином, у тектонічній еволюції геоструктури ДДП послідовно мали прояв три контрастні геодинамічні режими напружено-деформованого стану континентальної земної кори [4].

Очевидно, що зі змінами геодинамічних обстановок кожен із інверсійних етапів еволюції геоструктури ДДП супроводжувався трансформуванням первинної рифтової будови з утворенням нових планів тектонічних деформацій, тому сучасна геоструктура палеорифту вміщує суму усіх різновікових структурних ускладнень регіонального структурного плану. Таким чином, дослідження структурних проявів етапів внутрішньо-плитної активізації і загально-плитної колізії у ДДП актуальною теоретичною проблемою регіональної геотектоніки і геодинаміки і предметом вивчення у трилогії і даній статті.

Огляд попередніх публікацій і досліджень.

Механізми внутрішньої структурно-речовинної переробки порід фундаменту древніх платформ та метаморфічних комплексів складчастих поясів вивчались у роботах [5-9]. До них належать: в'язка або пластична деформація, а також крихка, або розломно-блокова, мікросколова, або кліважна деформація, меланжування, тектонічна дезінтеграція і катаклаз, динамічна рекристалізація, безструктурна течія гранульованих

середовищ. У процесі трансформації рифтової розломно-блокової архітектури фундаменту на плікативно-дислоковану, під впливом вказаних деформаційних механізмів, за рахунок внутрішнього перерозподілу його об'єму відбуваються переміщення тектонічно активізованих геомас по в'язких тектонічних розривах. Об'ємна тектонічна течія порід здійснюється навіть у приповерхневих горизонтах земної кори, де рухомість і вторинні дислокації геомас реалізуються в умовах прогресивного стрес-метаморфізму в режимі "холодної" деформації кори. Переважаючою формою внутрішньо-плитного тектогенезу за таких обставин є горизонтально- площинні переміщення шарів тектонічно неоднорідної, розшарованої та розущільненої верхньої частини кори. Тому важливою рисою структурної еволюції земної кори континентальних рифтогенних геоструктур є структуроформуюча роль тангенціальних напруг, якими зумовлені дислокації горизонтального зсування [10-12].

Тектонічні деформації фундаменту і осадового чохла із горизонтальною складовою рухів в межах платформ і рухливих поясів добре відомі. Аналізуючи еволюцію рельєфу материків, Л. Кінг першим звернув увагу на значну внутрішню рухомість фундаменту континентів і започаткував поняття "реїдна деформація", визначивши її як здатність кристалічних гірських порід до об'ємної течії у твердому стані [13].

Реїдна деформація у поверхні фундаменту виявляється із використанням тектонофізичних методів аналізу диз'юнктивних структур, взаємне розташування і морфологічні особливості яких вказують на об'ємну тектонічну течію консолідованих порід, якою обумовлюються горизонтальні переміщення геомас фундаменту і осадового чохла, що показано у роботах [14-17]. Наразі з'явилися нові теоретичні напрацювання [18-20], які свідчать, що реїдна деформація охоплює усі природні форми тектонічної течії та їх складні поєднання, тому вивчення природних механізмів формування вторинних диз'юнктивних і плікативних деформаційних структур дозволяє ідентифікувати природу деформаційних процесів, що зумовлюють об'ємну тектонічну течію геомас.

Останнім часом отримано нові геологічні матеріали, що свідчать про значні тектонічні напруги в земній корі і деформації південно-східної частини Сарматської плити внаслідок її колізійної взаємодії із суміжними складчастими поясами і плитами, наприклад [21]. Однак, дослідження структурних проявів пострифтової внутрішньо-плитної тектонічної активізації у ДДП не є системними, охоплюючи фрагментарно лише територію його північного борта на схилах ВА [22],

південного борта в межах УЩ [23], але більшу частину ДСС, завдяки роботам [24-26].

В моїй попередній роботі [27] було показано, що неодноразові ускладнення геоструктури ДДП були обумовлені змінами геодинамічних режимів у континентальній земній корі, які, у свою чергу, були викликані інверсіями параметрів поля тектонічних напруг. Сформовані у межах виділених зон різновікової активізації вторинні деформаційні структури тектонічної течії (СТТ) мають відображення у типових зсувних структурних рисунках систем розломів (СР) докембрійського фундаменту і осадового чохла. Ці дані дозволяють суттєво корегувати усталені уявлення щодо статичної розломно-блокової тектоніки верхніх шарів континентальної земної кори, доповнюючи їх необхідною геодинамічною складовою-динамічною тектонікою об'ємної течії консолідованих порід, яка є предметом наших регіональних геотектонічних досліджень.

Мета і задачі досліджень. Метою регіональних геотектонічних досліджень є вивчення структурних проявів реїдної деформації в архітектурі докембрійського кристалічного фундаменту, при цьому вирішувались наступні завдання:

1- вивчення морфології, тектонічної позиції і кінематики СТТ, виділених у поверхні кристалічного фундаменту за структурно-кінематичних ознак;

2- ідентифікація СТТ за даними аналізу структурних неоднорідностей аномального магнітного і гравітаційного потенційних геофізичних полів, а також поля вертикальних амплітуд новітніх (голоценових) тектонічних рухів.

Матеріали і методи досліджень. Структури тектонічної течії та їх структурно-кінематичні парагенези достатньо коректно виявляються із використанням структурно-кінематичного аналізу диз'юнктивних і плікративних структур, взаємне розташування і морфологія яких вказують на горизонтальні переміщення геомас. *Оригінальна комплексна методика регіональних геотектонічних досліджень* полягає у комплексуванні структурно-парагенетичного і структурно-кінематичного методів тектонофізичних досліджень СР. В її основу покладено відомі методи геометричного, кінематичного і парагенетичного аналізів систем тектонічної тріщинуватості різного віку, морфології, масштабу і генезису [11,14-16], спрямованих на виявлення і діагностику СТТ із подальшою їх ідентифікацією в локальних аномаліях потенційних геофізичних полів і вертикальних амплітудах неотектонічних рухів. Застосування даної методики у моїй попередній роботі [27], дозволило відновити у геохронології параметри тектонічного поля напруг для реконструкції геодинамічних обстановок структурної еволюції континентальної земної

кори палеорифту, а також визначити основні природні механізми формування СТТ у лінійних зонах горизонтально-зсувних дислокацій.

Картографічною основою досліджень служать «Карта розривних порушень і основних зон лінеаментів південного заходу СРСР (з використанням матеріалів космічної зйомки)» масштабу 1:000 000 (редактор М. Крилов, 1988) і сейсмічна структурна карта масштабу 1:500000 поверхні фундаменту (М. Манюта, 1987). Додатковими аналітичними матеріалами є карти спостережених локальних аномалій гравітаційного (ΔG_a) і магнітного (ΔT_a) полів масштабу 1:200000 (В. Шемет, В. Омельченко, 2006-2009), а також карта вертикальних амплітуд неотектонічних (голоценових) рухів (А. Полівцев, 2007).

На картографічному матеріалі, з використанням визначальних структурно-кінематичних індикаторів СТТ, згідно [14-16] і принципової моделі сполучених деформаційних парагенезів тектонічної течії, згідно [11] (рис. 1), проводилось виявлення СТТ у поверхні фундаменту з їх наступною ідентифікацією в локальних аномаліях потенційних геофізичних полів і амплітудах новітніх (голоценових) вертикальних тектонічних рухів. На цих підставах виділялись морфолого-генетичні типи СТТ із визначенням напрямків і кінематики горизонтальних переміщень тектонічно активізованих геомасивів.

Виклад основного матеріалу. Структурний аналіз розломної решітки у поверхні фундаменту дозволив виявити регіональний масштаб поширення визначальних структурно-кінематичних індикаторів об'ємної тектонічної рухомості кристалічних порід в межах усіх тектонічних зон ДДП, а також встановити, що вторинні деформації тектонічної течії у структурному плані палеорифта, за інтенсивністю структурного прояву, відображаються у трьох основних морфологічних типах територіально і динамічно взаємопов'язаних зон концентрованих реїдних дислокацій (рис. 2).

Перший тип дислокацій складають діагональні і поперечні до простягання палеорифта лінеаментні зони концентрованих диз'юнктивних деформацій кристалічних порід. Сформовані в зонах динамічного впливу активізованих на інверсійних етапах геодинамічної еволюції континентальної земної кори древніх трансрегіональних глибинних розломів, вони утворюють системний структурно-тектонічний каркас, складений лінійними зонами горизонтально-зсувного контролю. У рельєфі фундаменту вони служать рухомими між-сегментними зонами, якими контролюються напрямки і кінематика горизонтальних внутрішніх переміщень геомасивів і поперечна сегментація геоструктури. До них належать шість лінійних зон горизонтально-зсувного контролю, із північ-

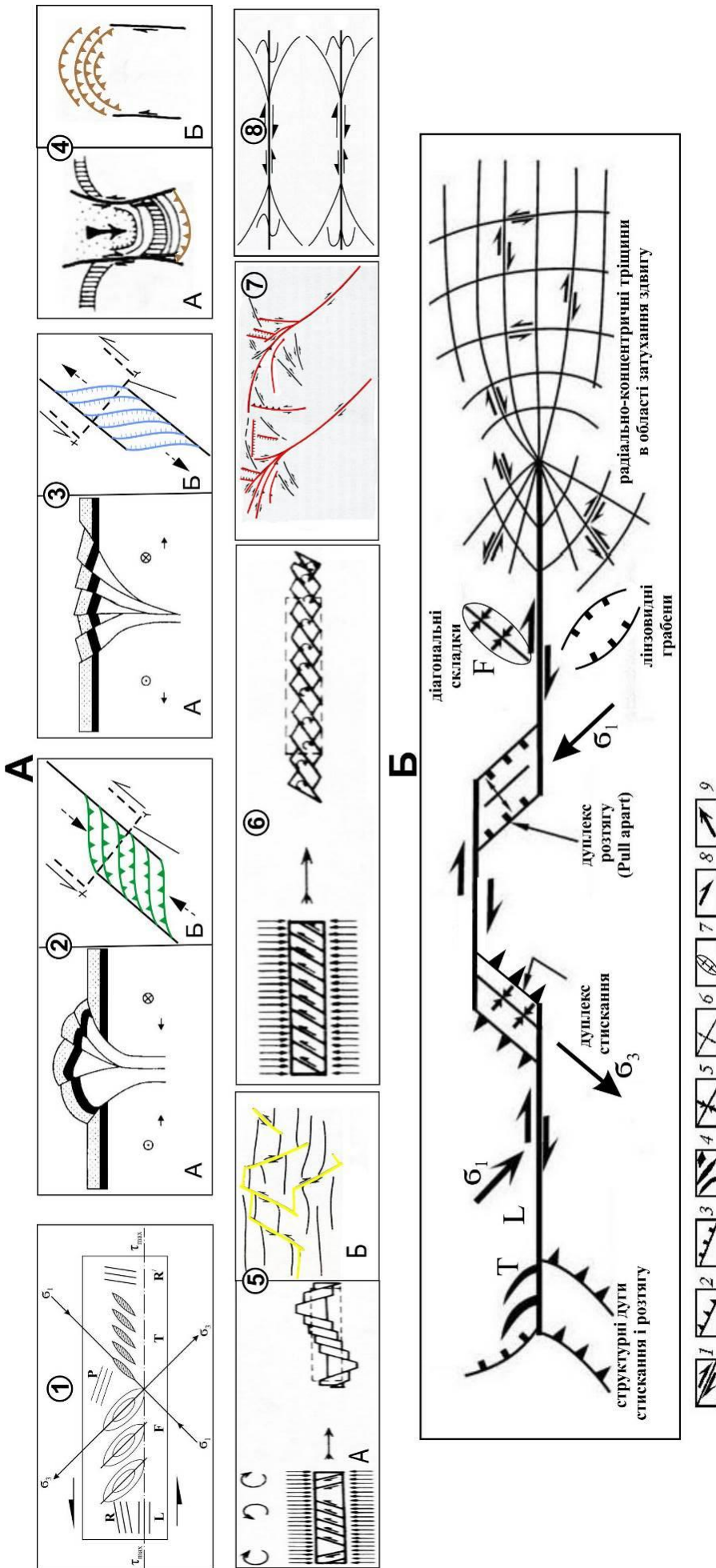


Рис. 1. А. Структурно-кінематичні індикатори для генетичної діагностики структур тектонічної течії, з використанням [13-15].

Типи парагенезів (цифри), принципів моделі (А), структурні рисунки (Б): 1 – деформаційні здвигові структури обстановок трансресії та трансенсії; 2 – дуплекс стиснення (contractional duplex); 3 – дуплекс розтягання (extensional duplex, pull-apart basin); 4 – ороклин насувного типу; 5 – парагенез комбінації «поперечне висування – подовжнє видовження»; 6 – парагенез подовжнього видовження завдяки узгодженого обертання блоків за системою однойменних здвигів (структура "доміно"); 7 – парагенез на закінченні здвигу – "кінський хвіст"; 8 – овальні дислокаційні структури.

Б. Просторова модель сполучених структурних парагенезів тектонічної течії, з використанням [12].

1 – здвиги; 2 – підкиди та насуви; 3 – скиди; 4 – відриви; 5, 6 – структури стиснення (5) і розтягу (6); 7 – діагональні складки; 8, 9 – напрямки здвигових (8) і тангенціальних переміщень (9). Букви на схемі: L – головні магістральні здвиги; R, P – вторинні (опіряючі) синтетичні здвиги і сколи, R' – вторинні антитетичні здвиги, T – структури розтягу (відриви), F – структури стиснення (складки)

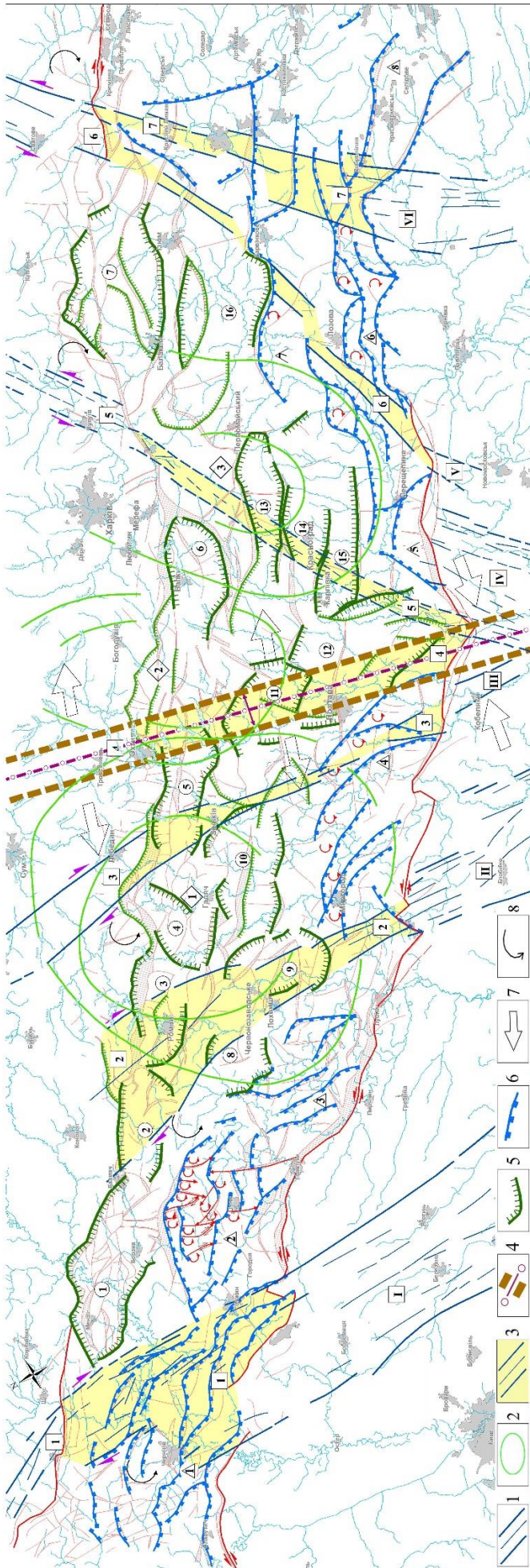


Рис. 2. Структурно-кінематична схема постріфових ускладнень архітектури фундаменту ДДП

. Цифри: I - VI - зони глибинних розломів: I - Кіровоградська; II - Криворізько-Кременчуцька; III - Дніпродзержинська; IV - Одеська; V - Оріхово-Павлоградська; VI - Центрально-Приазовсько-Слов'янська. 1-3 - кільцеві дуготипні аномалії: 1 - Галяцька; 2 - Богодухівська; 3 - Валківська (згідно матеріалів космічної зйомки [М.Крилов, 1988]). 1 - 7 - лінеаментні зони звувного контролю: 1 - Чернігівсько-Ніжинська; 2 - Глобино - Конотопська; 3 - Кобеляцько - Лебединська; 4 - Михайлівсько-Охтирська; 5 - Карлівсько-Чугуївська; 6 - Лозівсько-Старобільська; 7 - Добропільсько-Сватівська. Структурні улоговини: 1) 1 - 7 - північної прибортової зони: 1 - Менсько-Борзнянська; 2 - Бахмацько - Великобубнівська; 3 - Роменсько-Південно-Панасівська; 4 - Синівська; 5 - Зінківська; 6 - Валківська; 7 - Балаклійсько-Савинська; 2) 8 - 16 осові: 8 - Сребненська; 9 - Лохвицька; 10 - Лютенська; 11 - Солохівська; 12 - Східно-Полтавська; 13 - Карлівська; 14 - Красноградська; 15 - Старовірівська; 16 - Комишуваська. 1 - 8 структурні дуги стискання: 1 - Чернігівська; 2 - Ніжинсько-Ічнянська; 3 - Прилуцько-Лубенська; 4 - Миргородсько-Абазівська; 5 - Перещепинська; 6 - Лозівська; 7 - Сахновщинсько-Краснопавлівська; 8 - Добропільсько-Селідовська. Умовні позначення: 1 - шовні зони глибинних розломів, 2 - кільцеві дуготипні аномалії, згідно матеріалів космічної зйомки [М.Г. Располов, 1988]; 3 - лінійні зони звувного контролю; 4 - вісь кінематичної симетрії; 5 - структурні дуги розтягу; 6 - структурні дуги стискання; 7 - напрямки переміщення геомас; 8 - напрямки витискання і обертання геоблоків

ного заходу на південний схід: Чернігівсько-Ніжинська, Глобино-Конотопська, Кобеляцько-Лебединська, Карлівсько-Чугуївська, Лозівсько-Старобільська і Добропільсько-Сватівська зони.

Другий тип належить до концентрованих плікативних дислокацій, територіально і динамічно підпорядкованих лінійним зонам структурно – зсувного контролю. Вони представляють собою кулісні ряди структурних дуг стискання (дуплексів стискання – у тектонофізичному сенсі), які утворюють переважно поздовжні до простягання геоструктури позитивні форми рельєфу, такі як виступи південного борта і протяжні гряди високоамплітудних структурних щаблів- уступів у південній прибортовій зоні Дніпровського грабена.

Третій тип складають кільцеві, лінзовидні і овальні зони концентрованих плікативних деформацій, що складені структурними парагенезами дуг розтягання-ансамблями дуплексів розсуву (у тектонофізичному сенсі). Вони охоплюють міжлінеаментні ділянки дисипативних горизонтальних переміщень геомас із найменшою інтенсивністю структурних проявлень, які утворюють вторинні структурні ускладнення у вигляді кільцевих, лінзовидних і овальних локальних структурних улоговин на занурених схилах і днищах крупних осьових структурних депресій.

Особливості структурно-кінематичної будови трьох вказаних типів дислокаційних зон показано на прикладах їх прояву в геологічній будові Лохвицького і Ізюмського сегментів Дніпровського грабена. Вивчення кінематики горизонтальних переміщень геомас показало, що в межах Лохвицького сегмента більшість структуро-трансформуючих розломів-зсувів приурочено до діагональних СР північно-західного простягання у середньому азимуті 327° і має правосторонню кінематику рухів. На відміну від них, більшість структуро-трансформуючих лінеаментів в Ізюмському сегменті утворено у діагональних СР, які проявлені південно-східних румбах в середньому азимуті 57° і володіють лівосторонньою кінематикою.

Докорінні відмінності у кінематиці горизонтальних переміщень геомас між північно-західною і південно-східною частинами ДДП можуть бути пов'язані з формуванням головного системно-структурно-кінематичного елементарного інверсійної структури – Михайлівсько-Охтирської поперечної осі кінематичної симетрії, яка розділяє північно-західний і південно-східний мегаблоки палеорифту із різними кінематичними типами СТТ і їх парагенезів. Вона є також віссю тектонічного розтікання геомас (в концепції динамічної геотектоніки), що розташовується у шовній зоні Верховцівсько-Льговського меридіонального глибинного розлому.

До основних структуроутворюючих диз'юнктивних елементів новітньої архітектури фундаменту віднесено Кировоградський, Західно-Інгулецький, Криворізько-Кременчуцький, Дніпро-Дзержинський, Одеський, Оріхово-Павлоградський та Центральньо-Приазовсько-Слов'яногірський трансрегіональні мантіїні глибинні розломи, трасування яких прийняте згідно «Карти розривних порушень і основних зон лінеаментів південного заходу СРСР (з використанням матеріалів космічної зйомки)». Вони простежуються з УЩ, перетинають територію ДДП і південні схили ВА. Поновлення тектонічних рухів в епохи платформної активізації і загально-плитної колізії вздовж вказаних глибинних лінеаментів викликало формування територіально і динамічно приуроченої до них розломної решітки лінійних зон горизонтально-зсувного контролю, які складають структурно-тектонічний каркас системної організації новітньої архітектури ДДП (рис. 2).

На рисунках 3, 4, 5 (ліва половина рисунків) наведено результати комплексного аналізу морфології, тектонічної позиції і кінематики виділених в межах східної частини Лохвицького сегмента вторинних дислокаційних зон. У поверхні фундаменту тут ідентифіковано переважання концентрованих типів структурних дислокацій горизонтального зсуву з правосторонньою кінематикою рухів елементів їх внутрішньої структури. Вони виявлені в північно-західній діагональній СР в середньому азимутальному напрямку 327° , вздовж якого в мезозої, згідно результатів реконструкції НДС [27], була орієнтована головна вісь максимальних тангенціальних напруг τ_1 . На відміну від них, структурні парагенези з лівосторонньою кінематикою переміщень геомас мають підпорядковане значення і обмежений територіальний розвиток, розташовуючись у парній діагональній північно-східній СР в середньому азимутальному напрямку 57° , вздовж якого з раннього мезозою була орієнтована взаємно-ортогональна до τ_1 парна вісь τ_2 .

В межах Лохвицького сегмента, за структурно-кінематичних ознак, в архітектурі фундаменту палеорифту виділено три лінеаментні зони структурно-зсувного контролю. Із північного заходу на південний схід, це – Глобино-Конотопська і Кобеляцько-Лебединська лінійні зони горизонтально-зсувного контролю, а також системна Михайлівсько-Охтирська зона, яка вперше виділяється як вісь тектонічного розтікання геомас-вісь кінематичної симетрії геоструктури палеорифту. Ця зона є регіональним лінеаментом, який розділяє Лохвицький і Ізюмський сегменти палеорифту. У поверхні фундаменту вона займає тектонічну позицію Ворсклянського структурного щабля, що служить східною границею Псельсько-

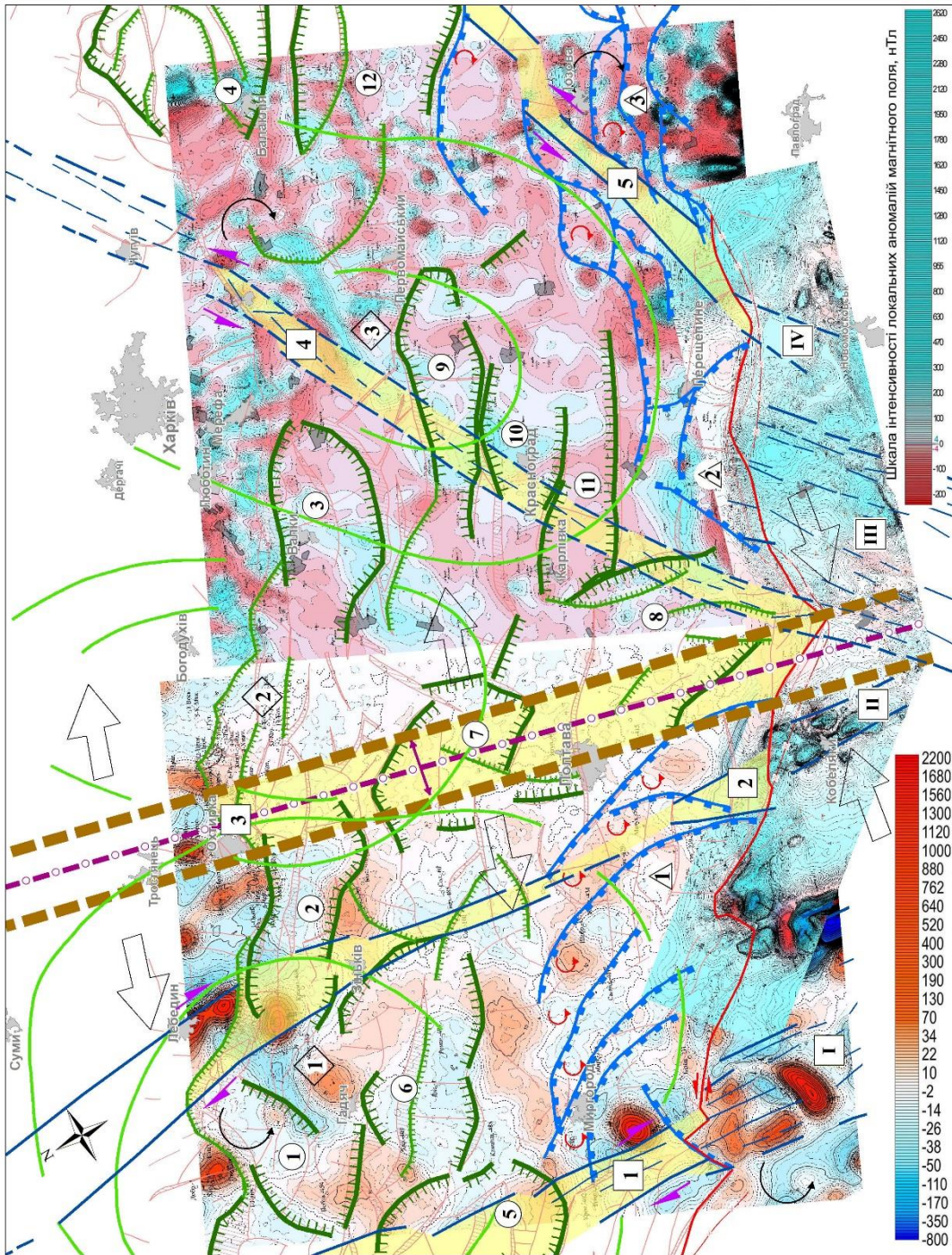


Рис. 3. Відображення в локальних аномаліях магнітного поля ΔT_a лінійних зон і структурних парагенезів тектонічної течії докембрійського фундаменту

Цифри I - IV - зони глибинних розломів: I - Криворізько-Кременчуцька; II - Дніпродержинська; III - Одеська; IV - Оріхово-Півлоградська; \diamond - \diamond - кільцеві дуготипні аномалії: \diamond - Гадяцька; \diamond - Богодухівська; \diamond - Валківська (згідно матеріалів космічної зйомки [М.Крилов, 1988]); Структурні улоговини: 1) $\textcircled{1}$ - $\textcircled{4}$ - північної приобортової зони: $\textcircled{1}$ - Синівська; $\textcircled{2}$ - Зінківська; $\textcircled{3}$ - Валківська; $\textcircled{4}$ - Балаклійсько-Савинська; 2) $\textcircled{5}$ - $\textcircled{7}$ - осьові: $\textcircled{5}$ - Лохвицька; $\textcircled{6}$ - Лютецька; $\textcircled{7}$ - Солохівська; $\textcircled{8}$ - Східно-Полтавська; $\textcircled{9}$ - Карлівська; $\textcircled{10}$ - Красноградська; $\textcircled{11}$ - Старовірська; $\textcircled{12}$ - Компшухацька; \triangle - \triangle - структурні дуги стисання; \triangle - Мигородсько-Абазівська; \triangle - Перещепинська; \triangle - Лозівська. Умовні позначення див. рисунок 5

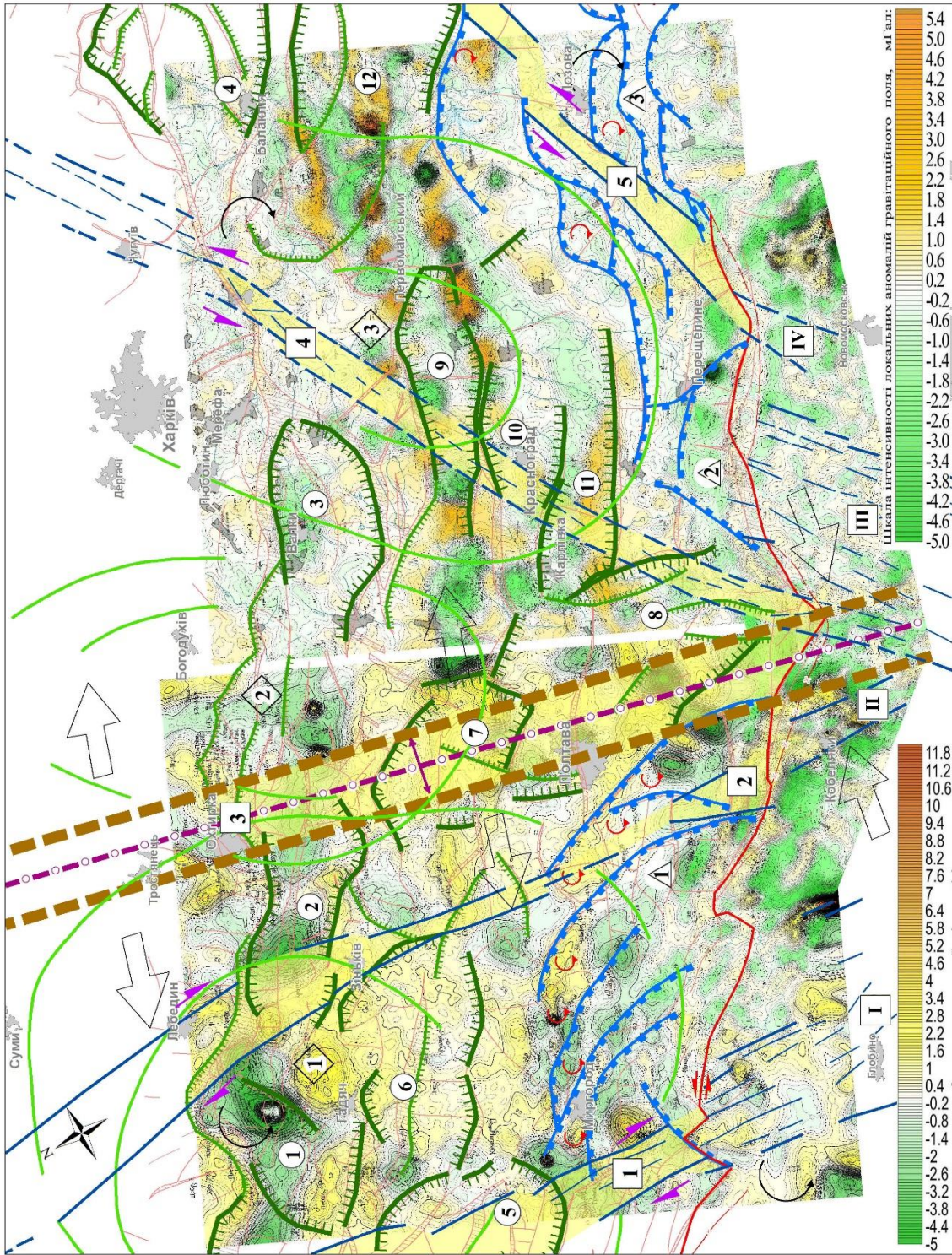


Рис. 4. Відображення в локальних аномаліях гравітаційного поля Δg лінійних зон і структурних парагенезів тектонічної течії докембрійського фундаменту

Цифри: I - IV - зони глибинних розломів: I - Криворізько-Кременчуцька; II - Дніпродержліська; III - Одеська; IV - Оріхово-Півлоградська. \diamond - \diamond - кільцеві дуготипні аномалії: \diamond - Гадяцька; \diamond - Богодухівська; \diamond - Валківська (згідно матеріалів космічної зйомки [М. Крилов, 1988]); Структурні улоговини: 1) I - IV - північної прифтортової зони: 1 - Синівська; 2 - Зінківська; 3 - Валківська; 4 - Балаклійсько-Савинська; 5 - осьові: 5 - Лохвицька; 6 - Лютенська; 7 - Солохівська; 8 - Східно-Полтавська; 9 - Карлівська; 10 - Старовірівська; 11 - Красноградська; 12 - Комишуваська. \triangle - \triangle - структурні дуги стисання: \triangle - Миргородська-Абазівська; \triangle - Перещепинська; \triangle - Лозівська. У мовні позначення див. рисунок 5

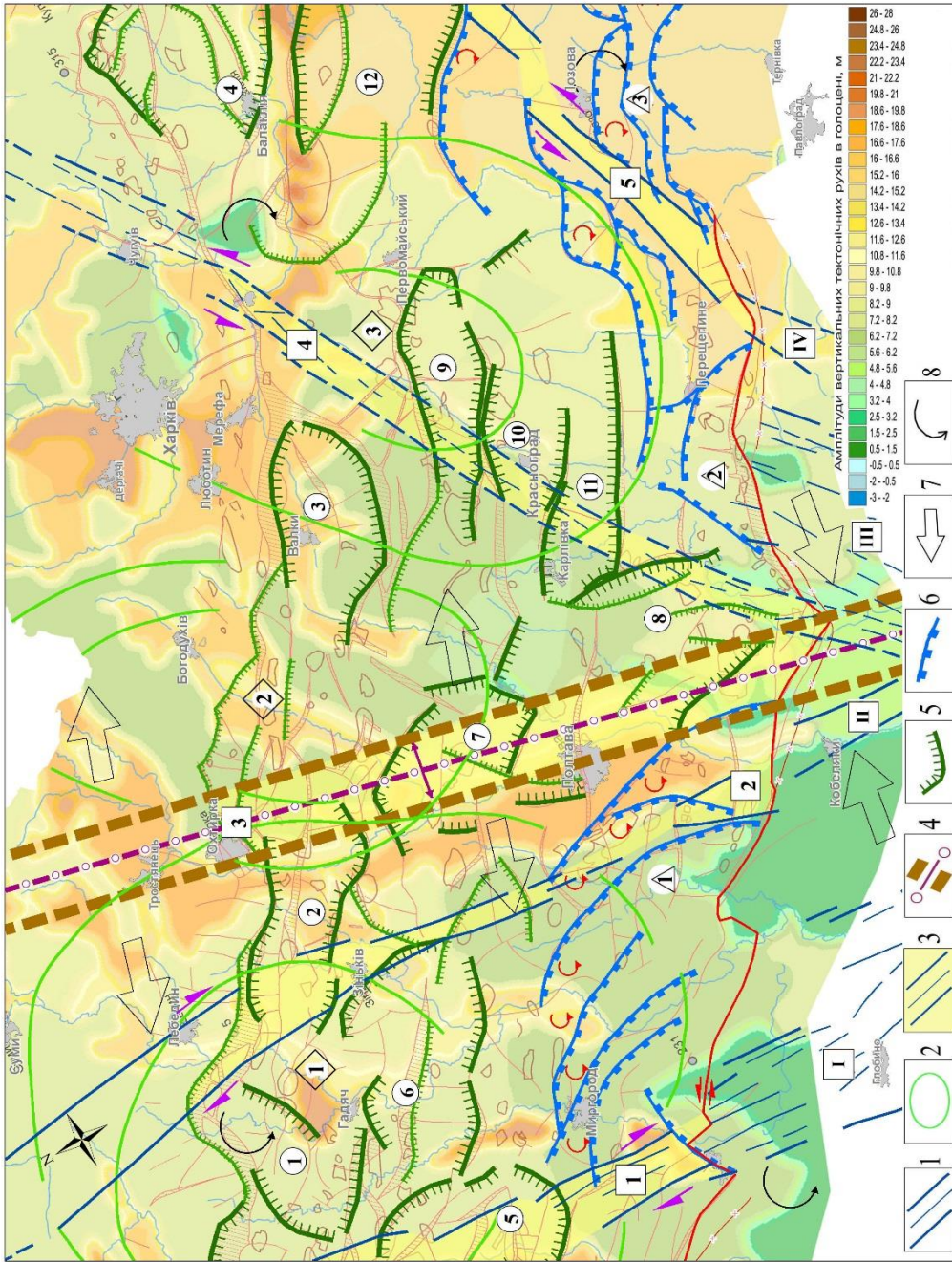


Рис. 5. Відображення лінійних зон і структурних парагенез тектонічної течії в полі вертикальних неотектонічних (голоценових) рухів докембрійського фундаменту

Цифри: I - IV - зони глибинних розломів: I - Криворізько-Кременчуцька; II - Дніпродзержинська; III - Олександрівська; IV - Оріхово-Півноградська; V - кільцеві дуготипні аномалії: VI - Гадяцька; VII - Богодухівська; VIII - Валківська; IX - Валківська (згідно матеріалів космічної зйомки [М. Крилов, 1988]). Структурні улоговини: 1) I - II - північної приборотової зони: I - Синівська; II - Зінківська; III - Валківська; IV - Валківсько-Савинська; V - основи: VI - Лохвицька; VII - Лютенська; VIII - Слобожанська; IX - Східно-Полтавська; X - Карлівська; XI - Карлівська; XII - Старовірівська; XIII - Комишуваська; XIV - А - структурні дуги стискання: I - Миргородська-Абазівська; II - Перецелинська; III - Лозівська. Умовні позначення: 1 - повні зони глибинних розломів, 2 - кільцеві дуготипні номалії, згідно матеріалів космічної зйомки [М.Г. Распопов, 1988]; 3 - лінійні зони зсувного контролю; 4 - всія кінематичної дуги розтягу; 5 - структурні дуги стискання; 6 - напрямки витискання і обергання геоблоків геомас; 7 - напрямки витискання і обергання геоблоків

Ворсклянської сідловини. У палеозойському структурному плані цей лінеамент оформлюється як вузька, поперечна до простягання вісі палеорифту, Михайлівсько-Ворсклянська структурна улоговина. Детальне обґрунтування її структурно-кінематичної ролі в осадовому чохлі буде надане у наступній статті.

В локальних аномаліях магнітного і гравітаційного полів Михайлівсько-Охтирська лінійна зона зсувного контролю проявлена як межа, що розділяє дві території із різним структурним рисунком (рис. 3, 4). На заході – це територія Псельсько-Ворсклянської сідловини, яка характеризується спокійним гравітаційним полем з переважанням локальних позитивних аномалій середніх значень, азимутальна орієнтація яких, здебільшого відображає право-зсувні переміщення геомас. На сході – це район територіального поширення найкрупніших осьових улоговин фундаменту – Полтавської і Красноградської. В їх межах розташовані два взаємно-паралельних відгалуження осьових соляно-купольних валів, які чітко відбиваються у полі сили тяжіння двома градієнтними ланцюжками концентрації аномалій із закономірним чергуванням позитивних і від'ємних локальних гравітаційних аномалій. Встановлено, що зміщення у плані цих двох первісно єдиних лінеаментів із фрагментацією їх на окремі відгалуження відбувається за системами локальних зсувів-трансформів, які досить впевнено ідентифікуються також у магнітному і гравітаційному полях. Дуже чітко цей лінеамент проявляється також у полі вертикальних неотектонічних рухів у вигляді яскравої позитивної лінійної аномалії вертикальних амплітуд рухів меридіонального простягання (рис. 5).

Глобино-Конотопська лінійна зона зсувного контролю у поверхні фундаменту вісьової зони Дніпровського грабена розділяє Сребненську і Лютенську структурні улоговини, а на південному сході відділяє Лютенську і Сагайдацько-Ландарийську улоговини від району південних прибортових Ключниківсько-Миргородських структурних уступів-шаблів. В осадовому чохлі вона досить впевнено простежується як лінійна зона глибинних розломів діагонального до вісі Дніпровського грабена простягання, що обмежує з півночі прибортовий моноклінальний схил від його вісьової зони. В магнітному і гравітаційному полях Глобино-Конотопський лінеамент проявляється як градієнтна зона, що обмежує південну прибортову ділянку мозаїчного розташування локальних позитивних аномалій великої амплітуди від вісьової ділянки грабена із впорядкованим розподілом позитивних аномалій середніх значень амплітуд (рис.3, 4). В неотектонічному полі вертикальних рухів, за розподілом позитивних

аномалій, ця структурна зона має аналогічну «пограничну» характеристику (рис. 5).

Кобеляцько-Лебединська лінійна зона зсувного контролю у поверхні фундаменту відділяє Лютенську улоговину від району північних прибортових Новотроїцько-Грунських структурних уступів. В осадовому чохлі вона доволі впевнено простежується як лінійна зона глибинних розломів діагонального простягання до вісі Дніпровського грабена, яка обмежує з півночі осьові западини від прибортового моноклінального схилу. В магнітному і гравітаційному полях цей лінеамент відділяє південну ділянку з впорядкованим розподілом позитивних локальних аномалій середніх значень амплітуд від ділянки мозаїчного розташування локальних позитивних аномалій великих значень амплітуд у північній прибортовій зоні грабена (рис. 3, 4). В полі вертикальних неотектонічних рухів ця структурна зона має майже аналогічну характеристику за відповідним розподілом позитивних аномалій (рис. 5).

На рисунках 3, 4, 5 (права половина рисунків) показано морфологію, тектонічну позицію і кінематику виділених в межах Ізюмського сегмента зон вторинних дислокацій тектонічної течії. На відміну від Лохвицького сегменту, тут спостерігається протилежна кінематична картина: у взаємно-ортогональних діагональних СР переважають ліво-зсувні структурні парагенези тектонічної течії при підпорядкованому розвитку парагенезів правої кінематики рухів. Найбільшого територіального розвитку тут набувають дисипативні між сегментні форми горизонтально-площинних дислокацій у вигляді кільцевих, лінзовидних і овальних структурних улоговин у межах вісьової і північної прибортової зон Дніпровського грабена, за підпорядкованого територіального поширення зон концентрованих деформацій у складі лінійних зон контролю і дуплексів стискування. Останні локалізовані лише у південній прибортовій і привісьовій частинах Дніпровського грабена і мають дещо менше територіальне поширення.

За визначальних структурно-кінематичних ознак у поверхні фундаменту Ізюмського сегмента виділено три лінійних зони горизонтально-зсувного контролю, із північного заходу на південний схід, це Карлівсько-Чугуївська, Лозівсько-Старобільська і Добропільсько-Сватівська зони (рис. 2, 3-5).

Карлівсько-Чугуївську лінійну зону контролю виділено у вісьовій і північній прибортовій зоні Дніпровського грабена як чітку структурну границю, що відділяє Полтавську і Валківську структурні улоговини на заході від Красноградської улоговини на сході. В осадовому чохлі цей лінеамент структурно представлений діагональною системою лівосторонніх зсувів-трансформів,

вздовж яких відбувається суттєве, на 15-20°, зміщення на північний захід азимутального простягання осей південної і північної гілок соляних структурних валів вісьової зони палеорифту. Вздовж нього спостерігається також різка зміна субширотного напрямку простягання Єлизаветівсько-Тарасівського і Ново-Санжарського соляних штоків на південно східний, вздовж трас ліво-сторонніх зсувів-трансформів.

Лозівсько-Старобільська зона зсувного контролю за кінематикою є ліво-зсувним лінеаментом. У поверхні фундаменту ця лінійна зона обмежує зі сходу Красноградську структурну улоговину від західних схилів ДСС. В осадовому у чохла вона відображається діагональною субпаралельною системою локальних зсувів-трансформів, за якою відбувається значне (на 10-15°) зміщення азимуту простягання вісі палеорифту на південний захід. Горизонтальні переміщення геомас амплітудами до 5-7 км вздовж цієї зони зафіксовані за зміщенням осей простягання Кальміус-Торецької і Комишувасько-Лиманської структурних улоговин, а також Співаківсько-Червоно-Оскільського структурного валу.

В аномальному магнітному полі обидві характеризовані вище зони горизонтально-зсувного контролю відбиваються високо-градієнтними смугами позитивних локальних аномалій діагонального північно-східного простягання (рис. 3). В аномальному полі сили тяжіння вони відображаються також за чіткого зміщення локальних аномалій, приурочених до осей простягання тектонічних структурних елементів зонального масштабу. Вони проявлені як характерні градієнтні ланцюжки із закономірним чергуванням позитивних і від'ємних локальних гравітаційних аномалій (рис.4). В полі вертикальних неотектонічних рухів ці лінеamenti не мають чіткого відбиття, але відзначаються доволі широкими смугами, що розмежовують території з поступовим нарощуванням із заходу на схід, в напрямку ДСС, амплітуд новітніх вертикальних рухів (рис. 5).

Висновки. Регіональними геотектонічними дослідженнями встановлено, що динамічна геотектоніка інверсійних етапів структурної еволюції континентальної земної кори у ДДП, за інтенсивністю структурного прояву, зумовила формування у докембрійському фундаменті наступних трьох типів територіально і динамічно сполучених деформаційних зон об'ємної тектонічної течії кристалічних порід.

1. Лінеamentних зон концентрованих деформацій, які утворюють в поверхні фундаменту пострифтову структурну решітку зон горизонтально-зсувного контролю. Її складають системи активі-

зованих на інверсійних етапах еволюції земної кори древніх діагональних і меридіональних глибинних мантієвих розломів, вздовж яких відбувались горизонтальні переміщення геомасивів із амплітудами у перші десятки км, переважно із ротаційною складовою рухів, що обумовили складні трансформації первинно лінійної грабен-рифтової геоструктури.

2. Дугоподібних зон концентрованих плікативних дислокацій, що складені структурними парагенезами дуг стискання-ансамблями дуплексів стискання (у тектонофізичному сенсі). Вони приурочені до міжлінеamentних ділянок найвищої інтенсивності прояву стрес-метаморфічних деформацій гірських порід, які у рельєфі фундаменту представлені дугоподібними структурними виступами борту і широкими, кулісно побудованими смугами високоамплітудних уступів-щаблів у прибортових частинах Дніпровського грабену.

3. Кільцевих і овальних зон концентрованих плікативних деформацій, що складені структурними парагенезами дуг розтягання-ансамблями дуплексів розсуву (у тектонофізичному сенсі). Вони охоплюють міжлінеamentні ділянки дисипативних горизонтальних переміщень геомас із середньою інтенсивністю структурних дислокацій, де на занурених схилах і днищах крупних осьових структурних депресій локалізуються від'ємні структурні форми рельєфу фундаменту у вигляді локальних кільцевих, лінзовидних і овальних структурних улоговин.

4. Головним системним тектонічним елементом сучасної геоструктури ДДП визначено Михайлівсько-Охтирську лінійну зону структурно-кінематичного контролю. Вперше її виділено як регіональну вісь кінематичної симетрії (в тектонофізичному сенсі) та вісь тектонічного розтікання геомас (в концепції динамічної геотектоніки), яка розділяє північно-західний і південно-східний мегаблоки палеорифту із різними кінематичними типами СТТ і структурних парагенезів реїдної деформації. Основними системними тектонічними елементами геоструктури ДДП визначено шість лінійних зон горизонтально-зсувного контролю, які складають структурний каркас пострифтової архітектури.

Встановлення нових, раніше не відомих особливостей пострифтових ускладнень будови фундаменту палеорифту дозволяє нам запропонувати більш коректну схему його тектонічної сегментації і модель новітньої системної організації архітектури фундаменту і осадового чохла, що детально розглядатиметься у наступних частинах трилогії.

Література

- 1 Чекунов А. Глубинное строение, модель развития и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого палеорифта [Текст] / А. Чекунов, Л. Калужная, И. Пашкевич и др. – С. 37-47.
- 2 Старостенко В. Геодинамическое развитие литосферы Украины и его роль в формировании и размещении месторождений полезных ископаемых [Текст] / В. Старостенко, О. Гинтов, Р. Кутас. // Геофизический журнал, 2011. – № 3, Т. 33. – С. 3-22.
- 3 Старостенко В. Модель глубинного строения Донецкого складчатого сооружения и прилегающих структур по данным региональных геофизических наблюдений [Текст] / В. Старостенко, А. Лукин, В. Коболев и др. // Геофизический журнал, 2009. – № 4, Т. 31. – С. 44-65.
- 4 Леонов Ю. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника [Текст] / Ю. Леонов. // Геотектоника, 1995. – № 6. – С. 3-21.
- 5 Паталаха Е. Механизм возникновения структур течения в зонах сжатия [Текст] / Е. Паталаха. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 216 с.
- 6 Слензак О. Локальные структуры зон напряжения докембрия [Текст] / О. Слензак. – К.: Наук. думка, 1984. – 104 с.
- 7 Гинтов О. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры [Текст] / О. Гинтов, В. Исай. – К.: Наук. думка, 1988. – 228 с.
- 8 Алексеев В. Структурный парагенезис зон стресс-метаморфизма [Текст] / В. Алексеев. // Геотектоника, 1990. – № 5. – С. 21-32.
- 9 Леонов М. Внутренняя подвижность фундамента и тектогенез активизированных платформ [Текст] / М. Леонов. // Геотектоника, 1993. – № 5. – С. 16-32.
- 10 Чебаненко И. Проявления сдвиговой тектоники в структуре литосферы Украины [Текст] / И. Чебаненко, Т. Знаменская, Н. Шаталов. – С. 85-91.
- 11 Колодяжный С. Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций [Текст] / С. Колодяжный. // Геотектоника, 2010. – № 2. – С. 1-22.
- 12 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.
- 13 Расцветаев Л. Закономерный структурный рисунок земной поверхности и его динамическая интерпретация [Текст] / Л. Расцветаев. // Проблемы глобальной корреляции геологических явлений. – М.: Наука, 1980. – С. 145-197.
- 14 Лукьянов А. Пластические деформации и тектонические течения в литосфере [Текст] / А. Лукьянов // Труды ГИН АН СССР. Вып. 460. – М.: Наука, 1991. – С. 144.
- 15 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.
- 16 Леонов М. Постумная ридная тектоника континентального фундамента [Текст] / М. Леонов. // Геотектоника, 1997. – № 3. – С. 3-20.
- 17 Чиков Б. Введение в физические основы статической и динамической геотектоники [Текст] / Б. Чиков. – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2011. – 299 с.
- 18 Леонов М. Внутриплитные зоны концентрированной деформации: тектоническая структура и особенности эволюции [Текст] / М. Леонов. // Геотектоника, 2012. – № 6. – С. 3-28.
- 19 Копп М. Дугообразные структуры растяжения в кинематическом анализе региональных и глобальных тектонических обстановок [Текст] / М. Копп. // Геотектоника, 2017. – № 6. – С. 18-36.
- 20 Копп М. Реконструкция кайнозойских напряжений/деформаций востока Русской плиты и пути ее применения для решения региональных и прикладных задач [Текст] / М. Копп, А. Колексниченко, Н. Васильев и др. // Геодинаміка, 2017. – Вип. 2 (23) – С. 46-66.
- 21 Лукин А. Тектоника северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена в контексте общих закономерностей континентального рифтогенеза [Текст] / А. Лукин, О. Цьоха, Т. Гейко, В. Омельченко. // Геол. журн. 2012. – № 3. – С. 7-38.
- 22 Гинтов О. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита – новые данные и следствия [Текст] / О. Гинтов. // Геофизический журнал, № 1. – Т. 36, 2014. – С. 3-18.
- 23 Копп М. Кайнозойские поля напряжения/деформаций Донбасса и их вероятные источники [Текст] / М. Копп, В. Корчемагин. // Геодинаміка, 2010. – Вип. 1 (9) – С. 17-48.
- 24 Горяйнов С. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины [Текст] / С. Горяйнов. // Доповіді НАНУ, 1999. – № 8. – С. 106-111.
- 25 Горяйнов С. О ларамийском усложнении геологических структур Украины [Текст] / С. Горяйнов. // Доповіді НАНУ, 2004. – № 12. – С. 114-121.
- 26 Бартацук О. Системна організація диз'юнктивної тектоніки консолидованого фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 3. Структурно-кінематичні парагенези тектонічної течії зон горизонтально-сдвигових дислокацій [Текст] / О. Бартацук. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 48. – Х.: ХНУ, 2018. – С. 12-27.

UDC 551.243.8:550.8(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, <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, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>

HORIZONTALLY DISPLACED OF GEOMASSES IN THE CONTINENTAL RIFT STRUCTURES (ON THE EXAMPLE OF THE DNIPRO-DONETSK PALEORIFT).

PART 1. STRUCTURAL MANIFESTATIONS OF TECTONIC FLOWS IN BASEMENT

Introduction. At the inversion stages of continental geosstructures evolution, the rocks of the basement acquire significant internal volumetric tectonic mobility due to structural and material transformations and deformations of the tectonic flow. The mechanism and scope of structural changes depend on the characteristics of their primary tectonic structure and geodynamics, the intensity of stress-metamorphic deformations of rocks, the nature and number of inversions of tectonic stress fields.

Review of previous publications and studies. Secondary dislocations are important for consideration in geotectonic studies of ancient intra-plate rifts, which include the Dnieper-Donets paleorift (DDP). Studying the systemic organization of its disjunctive tectonics, on the basis of a geometric, kinematic and genetic analysis of structural patterns of faults, it was shown that the rift fault-block structure of the Precambrian basement complicates different-age dislocations of the inversion evolutionary stages.

Purpose and objectives of research. The article is the first of a trilogy that continues research into the dynamic geotectonics of paleorift, highlighting the kinematic mechanisms and the geological consequences of the horizontal movements of geomass. It is devoted to the geotectonic study of structural complications of the collisional stages of tectogeneses in the architecture of the Precambrian foundation.

Materials and methods of research. The original comprehensive method of regional geotectonic studies is to integrate structural-paragenetic and structure-ne-kinematic methods of tectonophysical research of fault systems. On the cartographic material, with the use of the determinants of kinematic indicators and the principle model of coupled deformation parageneses of the tectonic flow, they were detected at the base of the surface with identification in the local anomalies of geophysical fields and amplitudes of the newest (Holocene) vertical tectonic movements.

Presentation of the main material. Territorial distribution and tectonic position of the secondary deformation structures of the tectonic flow of the sub-regional and zonal scales, ranging in the size from first to tens of kilometers complicated by its rift fault-block relief, is studied. They were the result of the deformation mechanism of volumetric tectonic flow of magmatic and metamorphic rocks.

Findings. The morphogenetic types, tectonic position and kinematic mechanisms of secondary deformational structures formation of the tectonic flow which complicates its rift's fault-block pattern, have been studied. Their reflections in the local anomalies of the magnetic and gravitational potential geophysical fields and in the vertical amplitudes of the newest (Holocene) tectonic movements have been analyzed. Their structure-forming role at the collision stage of the continental crust of DDP evolution is shown.

Keywords: reid deformation, tectonic flow structures, horizontal displacements of geomassives, kinematics, structural parageneses.

References

1. Chekunov, A., Kalyuzhnaya, L., Pashkevich, I. *Depth structure, model of development and oil and gas potential of the Dnipro-Donets Paleorift.* 37 – 47.
2. Starostenko, V., Gintov, O., Kutas, R. (2011) *Geodynamic development of lithosphere of Ukraine and its role in formation and location of mineral deposits.* *Geophysical Journal*, 3 (33), 3-22.
3. Starostenko, V., Lukin, A., Kobolev, V., Rusakov, O., Orlyk, M., Shuman, V., Omelchenko, V., Pashkevich, I., Tolkunov, A., Bogdanov, Yu., Burkinskiy, I., Loyko, N., Fedotova, I., Zakharov, I., Chernyakov, A., Kuprienko, P., Makarenko, I., Logastaeva, O., Lebed, T., Savchenko, A. (2009). *A model of deep structure of the Donetsk fold system and adjacent structures according to the data of regional geophysical observations.* *Geophysical Journal*, 4 (31), 44-65.

4. Leonov, Yu. (1995). *Stresses in the lithosphere and intraplate tectonics. Geotectonics*, 6, 3-21.
5. Patalaha, E. (1979). *Forming mechanisms of flow structures in stress-zones. Alma-Ata: Nauka*, 216.
6. Slenzak, O. (1984). *Preceambrian local structural stress-zones. K., Nauk.dumka*, 104.
7. Gintov, O., Isay, V. (1988). *Tectonophysical studies of faults of consolidated crust. K., Nauk. dumka*, 228.
8. Alekseev, V. (1990). *Structural paragenesis of stress-metamorphism zones. Geotectonics*, 5, 21-32.
9. Leonov, M. (1993). *Internal mobility of basement and tectogenesis of activated platforms. Geotectonics*, 5, 16-32.
10. Chebanenko, I., Znamenskaya, T., Shatalov, N. *Expressions of shift tectonics in structure of lithosphere of Ukraine. 85-91.*
11. Kolodyazhnyi, S. (2010). *Structural-kinematic paragenesis in the sediments of the Phanerozoic cover of the Central Russian dislocation zone. Geotectonics*, 2, 1-22.
12. Timurziev, A. (2014) *Structures of horizontal shift of sedimentary basins and experience of application of tectonophysical methods to increase prospecting and exploration efficiency and mastering near-shift oil. Geophysical Journal*, 2 (36), 172-185.
13. Rastsvetaev, L. (1980). *Natural structural pattern of terrestrial surface & dynamics interpretation. M., Nauka*, 145 – 197.
14. Luk'yanov, A. (1991). *Plastics deformations & tectonics flow in lithosphere. Geol.Inst. of Academy of Sciences of USSR*, 460, M.: Nauka, 144.
15. Kopp, M. (1991). *Structural patterns of within-fold belts horizontal movements. Geotectonics*, 1, 21-36.
16. Leonov, M. (1997). *Postumreide tectonics of the continental basement. Geotectonics*, 3, 3-20.
17. Chikov, B. (2011). *Introduction to the physical fundamentals of static and dynamic geotectonics. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo "Geo"*, 299.
18. Leonov, M. (2012). *Within-plate zones of concentrated deformation: tectonic structure & evolution. Geotectonics*, 6, 3-28.
19. Kopp, M. (2017). *Arcuate extension structures in kinematic analysis of global & regional tectonic settings. Geotectonics*, 6, 18-36.
20. Kopp, M., Kolesnichenko, A., Mostryukov, A., Vasilev, N. (2017). *Reconstruction of Cenozoic stress and deformations in the eastern East European platform with its regional and practical application. Geodynamics*, 2 (23), 46-66.
21. Lukin, A., Tsoyha, O., Geyko, T., Omelchenko, V. (2012). *Tectonics of the northern edge of the Dnieper-Donets aulacogen in the context of the general laws of continental rifting. Journal of Geology*, 3, 7-38.
22. Gintov, O. (2014). *Scheme of faulting stages periodization in the Earth's crust of the Ukrainian shield – new data and consequences. Geophysical Journal*, 1 (36), 3-18.
23. Kopp, M., Korchemagin, V. (2010). *The Cenozoic stress/deformation fields of the Donetsk coal basin and their probable sources. Geotectonics 1 (9)*, 17-48.
24. Goryaynov S. (1999). *About Alpine complication of geological structure in various regions of Ukraine. Reports of National Academy of Sciences of Ukraine*, 8, 106-111.
25. Goryaynov S. (2004). *About the Laramide complication of geological structures of Ukraine. Reports of National Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 114 – 121.
26. Bartaschuk, O. (2018). *System organization of disjunctive tectonics of consolidated basement in Dnipro-Donets paleorift. Part 3. Structural-kinematic parageneses of horizontal-shear dislocations zones. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 48, 12-27.

УДК 552.57/552.513(477.83)

Ірина Володимирівна Бучинська,

к. геол. н., ст. наук. співроб. відділу геології і геохімії твердих горючих копалин,
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна,
e-mail: ibuchynska@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8154-4485>;

Олена Мілетівна Шевчук,

мол. наук. співроб. відділу геології і геохімії твердих горючих копалин,
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
e-mail: olena.shevchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2370-5826>;

Андрій Володимирович Побережський,

к. геол.-мін. н., ст. наук. співроб., завідувач відділу геології і геохімії твердих горючих копалин,
заст. директора з наукової частини, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
e-mail: igggk@mail.lviv.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4622-0725>

ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ ПІСКОВИКІВ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

На основі аналізу структурно-текстурних особливостей пісковиків, вивчення колекторських властивостей і газоносності прогнозується ймовірність викидів порід на глибинах більше 700 м для Південно-Західного вугленосного району ЛВБ. На Тяглівському і Любельському родовищах досліджувалися породи бужанської світи нижнього карбону і морозовичівської світи башкирського ярусу середнього карбону. Застосування комплексного підходу до вивчення породних шарів з аналізом структурно-текстурних особливостей, визначенням стадій катагенетичних перетворень є важливим для встановлення причин, факторів явища викидонебезпечності вугленосних порід. За комплексним показником викидонебезпечності «В» у вугленосній товщі Тяглівського і Любельського родовищ на глибоких горизонтах виділяються шари і лінзи пісковиків потенційно здатних до раптових викидів. Для порід Тяглівського родовища, як більш газоносного в басейні, потенційна загроза викидів порід більша. Особливо це стосується локальних антиклинальних піднят, що ускладнюють крила Тяглівської синклінали. Лінзи потенційно викидонебезпечних пісковиків виділені у нерівномірно дегазованій товщі Любельського родовища. За своїми структурно-текстурними особливостями вони щільні з великою кількістю жорстких вторинних інкорпораційних і сутурних контактів між зернами. Поєднання підвищеного напруження тектонічного характеру зі значною крихкістю пісковика є достатньою умовою для виникнення і раптового виб'їлення високого напруженого стану в породах.

Дослідження пісковиків Південно-Західного вугленосного району ЛВБ, виділення шарів і лінз, потенційно здатних до раптових викидів, є актуальним з точки зору нарощування мінерально-сировинної бази басейну за рахунок освоєння нових площ.

Ключові слова: Львівсько-Волинський басейн, викидонебезпечність порід, пісковики, катагенез, структурно-текстурні особливості.

И. В. Бучинская, Е. М. Шевчук, А. В. Побережский. ВЫБРОСООПАСНОСТЬ ПЕСЧАНИКОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО РАЙОНА ЛЬВОВСКО-ВОЛЫНСКОГО КАМЕННО-УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА. На основании анализа структурно-текстурных особенностей песчаников, определения их коллекторских свойств и газоносности установлена вероятность существования выбросов пород на глубинах больше 700 м для Юго-Западного угленосного района ЛВБ. На Тягловском и Любельском месторождениях исследовались породы бужанской свиты нижнего карбона и морозовичевской свиты башкирского яруса среднего карбона. Применение комплексного подхода к изучению породных слоев с анализом структурно-текстурных особенностей, изучением стадий катагенетических преобразований важно для определения причин и факторов явления выбросоопасности пород. За комплексным показателем выбросоопасности «В» в угленосной толще Тягловского и Любельского месторождений на глубоких горизонтах выделяются слои и линзы песчаников потенциально способные к внезапным выбросам. Для пород Тягловского месторождения, как более газоносного в бассейне, потенциальная угроза выбросов больше. Особенно это касается локальных антиклинальных поднятий, которые усложняют крылья Тягловской синклинали. Линзы потенциально выбросоопасных песчаников выделены в неравномерно дегазированной толще Любельского месторождения. По своим структурно-текстурным особенностям они плотные с большим количеством жестких вторичных инкорпорационных и сутурных контактов между зернами. Сочетание повышенного напряжения тектонического характера и значительной хрупкости песчаника – достаточное условие для возникновения и внезапного высвобождения высокого напряженного состояния в породах.

Исследование песчаников Юго-Западного угленосного района ЛВБ, выделение слоев и линз потенциально опасных к внезапным выбросам актуально с точки зрения наращивания минерально-сырьевой базы за счет освоения новых площадей.

Ключевые слова: Львовско-Волинский бассейн, выбросоопасность пород, песчаники, катагенез, структурно-текстурные особенности.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Вивчення питання викидонебезпечності вугленосної товщі Львівського палеозойського прогину є важливим для визначення перспектив розвитку вуглевидобувного комплексу Львівсько-Волинського басейну (ЛВБ). Дослідження викидонебезпечності вугле-

вмісних пісковиків зумовлено комплексним підходом до питань нарощування вуглевидобутку за рахунок освоєння нових родовищ басейну та проведення вуглевидобувних робіт на глибоких горизонтах. Дослідження є частиною теми «Нарощування сировинної бази та аналіз якості вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну» в рамках цільової програми наукових

досліджень НАН України "Мінерально-сировинна база України як основа безпеки держави" (2016-2021 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема викидів вугілля, породи і газу передбачає розробку теорії методів прогнозу і засобів боротьби з газодинамічними явищами, які відбуваються в забоях гірських виробок і представляють собою швидкоплинне руйнування призабійної частини газонасиченого вугільного або породного масиву [23].

Раптовий викид – газодинамічне явище, що виникає у вугіллі чи в газонасичених породах і характеризується швидким руйнуванням масиву з викидом породи і виділенням газу [6]. Перший викид порід в Центральному геолого-промисловому районі Донецького басейну стався в 1955 р. на шахті № 1-5 "Кочегарка" на глибині 750 м [27]. А. А. Скочинський [24] запропонував газодинамічну концепцію викидів вугілля і газу і розглянув роль окремих факторів – тиску гірських порід, замкненого у вугіллі газу, фізико-механічних властивостей, мікро- і макроструктури вугілля, а також будову вугільного пласта. Ця гіпотеза була прийнята більшістю дослідників і розвинута в працях В. В. Ходота [26], В. І. Ніколіна [21], В. Ю. Забігайла [16, 17]. На думку цих авторів, викидонебезпечність зумовлена взаємозв'язком основних природних факторів (напруженого стану, вмісту газу і фізико-механічних властивостей гірських порід) з технологічними факторами. Поєднання підвищеного напруження тектонічного характеру зі значною крихкістю пісковиків є достатньою умовою для виникнення і раптового вивільнення високого напруженого стану в породах [27].

Дискусійним є питання ролі газу у виникненні викидів порід. На думку Л. Н. Бикова [11], першопричиною викидів є вільний газ, що знаходиться в мікропорах під високим тиском. В. І. Ніколін та ін. [16, 17, 21] причиною виникнення аномальних напруг у викидонебезпечних породах вважають геостатичний тиск і наявність в їхніх порах газу під високим тиском (до 10,0 МПа). За дослідженнями [13], газ, що утримується в товщі пісковиків, не є причиною виникнення викидів, а високе газовиділення пояснюється миттєвим руйнуванням породи з вивільненням газу.

Низка дослідників встановила приналежність викидонебезпечних пісковиків до певних умов утворення. В. С. Верєда до викидонебезпечних пісковиків на глибинах більше 700 м відносив лише пісковики руслових фацій [12]. Іншими дослідниками [10, 15, 16] були зроблені висновки, що викиди порід і газу відбуваються не лише в пісковиках руслових фацій, але й у пісковиках підводних виносів рік та узбережжя моря з відповідними фі-

зико-механічними властивостями.

Вивчення петрографічних особливостей небезпечних і безпечних по викидах пісковиків привели дослідників [15, 16] до висновку про існування принципових відмінностей в їхній структурі та складі, зокрема за розміром уламкових зерен, типом цементу, вмістом уламкового і регенераційного кварцу. Викидонебезпечні пісковики мають кварцитовидний вигляд, зерна вдавнені одне в одне, переважаючий тин цементу – контактний. Як прогнозні ознаки з високим ступенем надійності були запропоновані: здатність керну свердловин ділитися на диски, структура пісковиків, тип і склад цементу, типи контактів між зернами, розмір породотвірних мінералів.

Методи прогнозу, що існують на сьогодні, дозволяють визначити викидонебезпечність гірських порід на стадії геологічної розвідки родовищ (регіональний прогноз) і в процесі проведення виробок (поточний і локальний прогнози) [3, 5, 23].

Властивості викидонебезпечних пісковиків відносно надійно можуть бути визначені під час геологорозвідувальних робіт. Для чисельного визначення викидинебезпечності пісковиків застосовують комплексний показник «В», який розраховується як середнє двох груп показників: 1) характеристики властивостей порід – ступінь метаморфізму, генетичний тип пісковиків, кількість уламкового і регенераційного кварцу та глинисто-слюдистих мінералів, середньозважений розмір зерен, протяжність контактів, відкрита пористість; 2) характеристики напруженого стану породи – межа міцності на розрив, модуль Юнга, тиск газу, глибина залягання [3, 5].

Викидонебезпечність для однакових генетичних типів порід з рівними катагенетичними перетвореннями збільшується зі збільшенням кількості уламкового і регенераційного кварцу, зі збільшенням розміру кварцових зерен та протяжності контактів між породотвірними мінералами, зі зменшенням пористості, збільшенням сорбційної метаноємності та ступеня наповнення пор газом, глибини залягання і тиску насичених газів.

Прогноз викидонебезпечності гірських порід за геолого-геофізичними даними на цей час є найменш затратним і одночасно ефективним методом визначення викидонебезпечності пісковиків при проведенні робіт у вугільних шахтах.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Дослідження викидонебезпечності порід у Львівсько-Волинському басейні довгий час не проводились, оскільки видобування вугілля відбувалось на глибинах вище 700 м. Хоча більшість шахт ЛВБ є категорійними та надкатегорійними на газ, вивченням викидонебезпечності порід до

90-их років минулого століття майже не займалися.

Перспективи розвитку Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну та нарощування вуглевидобутку за рахунок освоєння нових родовищ пов'язуються з Південно-Західним вугленосним районом, у межах якого виділяють Тяглівське і Любельське родовища. Вони знаходяться в найбільш зануреній частині Львівського палеозойського прогину і відрізняються від тих, що вже розробляються, великою глибиною залягання перспективних вугільних пластів [14].

Будівництво шахти «Тяглівська – 1» на території Тяглівського родовища Південно-Західного вугленосного району ЛВБ планувалось проектом на період з 1996 по 2002 р, з вводом в експлуатацію в 2004 р. Розкриття вугільних пластів повинно було проводитися вертикальними здвоєними стволами і горизонтальними квершлагами глибиною до 870 м. Було проведено величезну дослідницьку роботу, пробурені сотні свердловин, але у зв'язку з політичними та економічними подіями, пов'язаними з розпадом Радянського Союзу, будівництво шахти так і не розпочалося. На сьогодні цікавість до цієї ділянки виникла у зв'язку з можливим видобутком метану з вугільних пластів.

Велика надія покладається на будівництво нової сучасної шахти на Любельському родовищі Південно-Західного району, адже це єдине родовище ЛВБ із запасами коксівного вугілля. Розкриття шахтного поля планується здійснювати двома вертикальними стволами глибиною до 979 м.

Перехід на горизонти на глибинах більших ніж 700 м потребує надійного прогнозу гірничо-геологічних умов розробки, адже саме на таких у Донецькому басейні у ряді шахт при проведенні робіт відмічаються викиди вугілля та породи.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Застосовуючи методи прогнозу викидонебезпечності порід на основі геолого-розвідувальних даних, встановити наявність потенційно викидонебезпечних пісковиків у вугленосній товщі Південно-Західного вугленосного району ЛВБ.

Викладення основного матеріалу. Південно-Західний вугленосний район – частина складної структури Львівсько-Волинського басейну. До його складу входять Тяглівська і Карівська (Любельська) асиметричні синклінали, вісі яких зміщені в південно-західному напрямку. В них залягають більш занурені кам'яновугільні відклади басейну, що збереглися від розмиву, які складають відповідно Тяглівське і Любельське родовища [28]. Схематична карта родовищ приведена на рисунку 1.

В стратиграфічному розрізі родовищ виділяють верхньодевонські переважно карбонатні відклади, вугленосні кам'яновугільні і перекриваючі їх теригенні юрські, карбонатні верхньокрейдові відклади, а також четвертинні відклади [2].

Розріз продуктивної товщі стійкий по всьому Південно-Західному вугленосному району. Це відклади кам'яновугільної системи, що відносяться до турнейського, візейського, серпухівського та башкирського ярусів.

Відклади турнейського ярусу (C_{1t}) представлені породами хорівської світи (C_{1thr}) і не мають суцільного розповсюдження по площі родовищ. В основному, це пісковики, алевроліти, аргіліти з поодинокими прошарками вапняків.

Відклади візейського ярусу (C_{1v}) розвинуті по всій площі і включають в себе олеськівську (C_{1vol}), яхторівську (C_{1vjh}), володимирівську (C_{1vvl}) і устилузьку (C_{1vus}) світи. Відклади представлені, в основному, міцними вапняками з підпорядкованим розвитком морських аргілітів. Характерне широке розповсюдження захоронень залишків фауни фораменіфер, брахіопод, кріноїдей, остракод і інших. Сумарно відклади мають в собі до 10 малопотужних (0,10-0,30м) вугільних пластів. В складі серпухівського ярусу (C_{1s}) виділяють порицьку (C_{1spr}), іваничівську (C_{1siv}), лішнянську (C_{1sls}) і бужанську (C_{1sbz}) світи.

Три нижніх світи (порицька, іваничівська, лішнянська) включають до 46 вугільних пластів з переважаючою потужністю 0,10-0,35м. Винятком є пласти v_6 (іваничівська світа) і n_0^6 (лішнянська світа), які є досить витриманими по площі і досягають робочої потужності. Відклади світ, в основному, представлені пісковиками, алевролітами, аргілітами з прошарками вапняків.

Бужанська світа (C_{1bz}) є найбільш вивченою, вміщує основні промислові пласти: n_7 , n_7^b , n_8^b , n_9 . Світа практично повністю складена теригенними породами (пісковиками, алевролітами, аргілітами). В розрізі світи присутні малопотужні, нестійкі по площі, вапняки N_3 і N_4 . Нижня частина розрізу, до вапняку N_4 , більш глиниста, майже безвугільна, складена практично повністю перешаруваннями аргілітів і алевролітів.

В розрізі світи також виявлено до 30 малопотужних пластів, серед яких найбільш стійкі – n_4 , n_5 , n_5^1 , n_6 , n_6^1 . В вапняках N_3 , N_3^1 , N_4 виявлені залишки фауни: фораменіфер, кріноїдей, пеліципод, гастропод, брахіопод.

Відклади башкирського ярусу (C_{2b}) розповсюджені в північній, найбільш зануреній частині шахтного поля, по всій площі шахтного поля і включають в себе три світи: морозовичівську (C_{2bmr}), паромівську (C_{2bpm}), кречівську (C_{2bkr}).

Морозовичівська світа складена пісковиками, алевролітами, аргілітами, вапняками і

вугіллям. Світа включає 8 вугільних пластів, промисловий інтерес мають лише два – b_1 і b_3 .

На Тягівському і Любелському родовищах планується виробка вугілля пластів b_3 , b_1 , n_9 , n_8^B , n_8 , n_7^B , n_7 .

За петрографічним складом пісковики вугле-

носної товщі відносяться до мезомікто-кварцових, польовошпато-кварцових і кремнекlasto-кварцових відмін за класифікацією В. Д. ШUTOVA (1975) [20].

Викиди порід відбуваються в пісковиках певних літогенетичних типів – фації русел (Р), під-

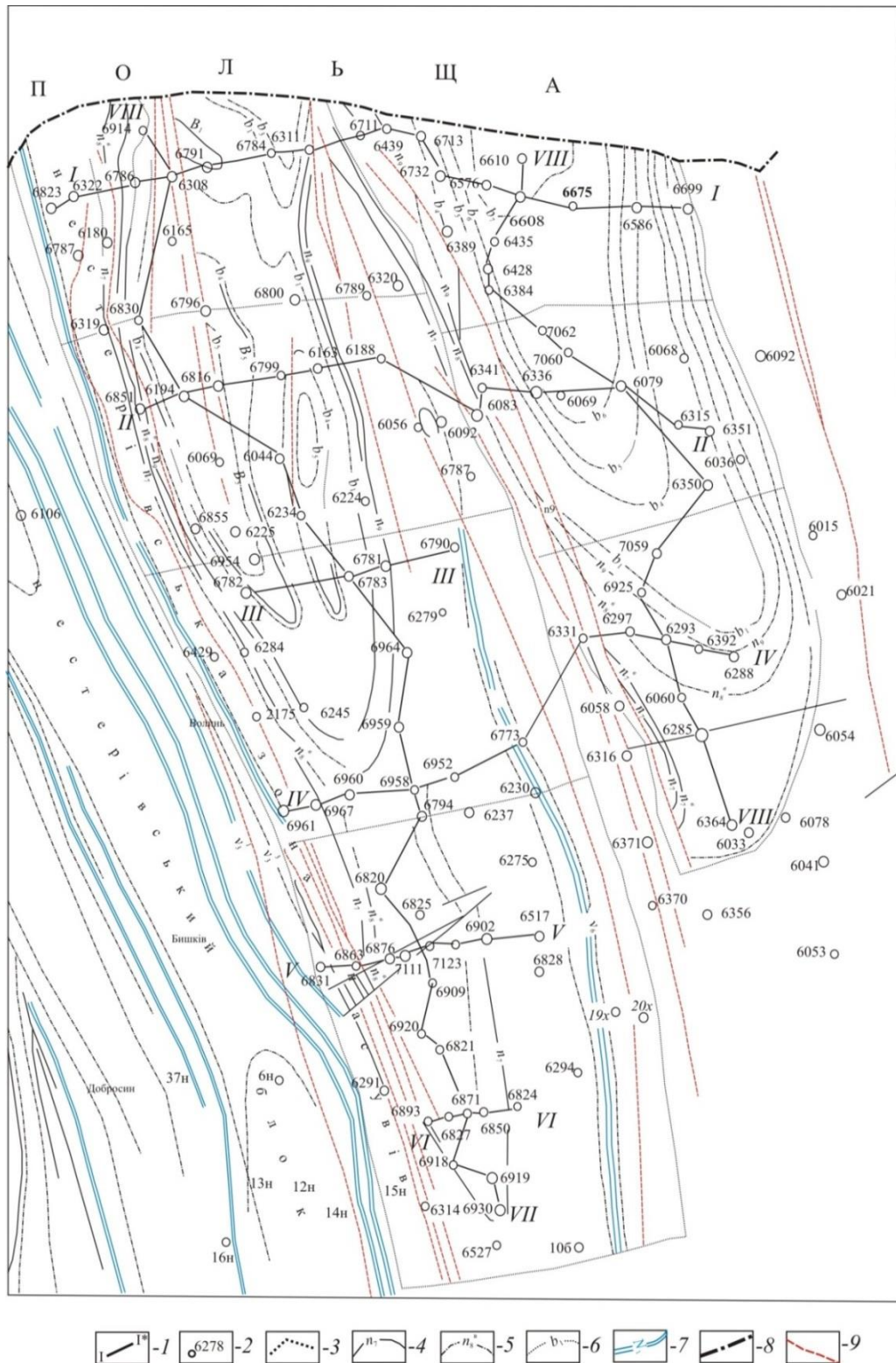


Рис. 1. Геологічна карта Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського басейну (за матеріалами [14]). Умовні позначення: 1 – лінія розрізу; 2 – номер свердловини; 3 – межі шахтних полів; 4, 5, 6 – вугільний пласт; 7 – вапняк; 8 – державний кордон; 9 – тектонічні порушення

водних виносів рік (ПВР), прибережно-морських (ПМ), що містять газове (Г), газопо- жирне (ГЖ), жирне (Ж) та коксівне (К) вугілля. Глибина залягання порід впливає на фізико-механічні властивості породи і знаходиться в кореляційному зв'язку з тиском газів, газонасиченістю та вологістю гірських порід [17].

Структурно-текстурні особливості порід ви- значалися ступенем постдіагенетичних змін. Нами були вивчені і співставлені вторинні зміни уламкового матеріалу, якісна і кількісна характе- ристика перетворень певних мінералів-індикато- рів та деякі структурно-текстурні показники, що характеризують ступінь перетворень пісковиків Р, ПВР і ПМ Південно-Західного вугленосного району, відносно стадій катагенетичного перетво- рення порід (табл. 1). Окрім того, схематично зо- бражено динаміку змін кількості вторинного ква- рцу, пористості, коефіцієнта метаморфічності та кількості контактів на зерно, як основних показ- ників структурних перетворень зі зміною ступеня катагенезу для пісковиків різних літогенетичних типів (рис. 2).

Аналіз результатів досліджень вказує на те, що зі зростанням ступеня катагенетичних пере- творень змінюється структура порід, а також

збільшується кількість регенераційного кварцу, що призводить до ущільнення порід.

Зі збільшенням постседиментаційних змін рі- зко погіршуються колекторські властивості піско- виків. Через зниження газопроникності піско- виків газу можуть зберігатися у відкритій системі “газ-пісковик”, що і спостерігається на великих глибинах у Донецькому басейні [9].

За класифікацією порід-колекторів пісковики Тяглівського родовища ЛВБ можна віднести до двох груп колекторів: до II групи – нерівномірно проникні (за порами) колектори, та до IV – змі- шані колектори (порові і тріщинні). За величиною проникності ці пісковики належать до класу сла- бопроникних (0,001 – 0,01 Д) і важкопроникних (<0,001 Д) колекторів [10].

За колекторськими властивостями вуглено- сні відклади Любельського родовища характе- ризуються наявністю пористих і газопроникних по- рід, які можна віднести до колекторів порового і порово-тріщинного типу. Пористість порід змінюється від 1 до 4 – 5% при максимальних зна- ченнях 9,2 – 15,8% на площі полів шахт Любель- ські №№ 1 і 2, газопроникність – 0,01 – 0,7 мД при максимальних показниках від 0,2 – 0,62 до 2,92 – 6,36 мД [25].

Таблиця 1

Основні мінералого-петрографічні характеристики пісковиків відносно стадії постдіагенетичного перетворення порід

| Фації | Стадія катагенезу | ПОЧАТКОВИЙ КАТАГЕНЕЗ | | ГЛИБИННИЙ КАТАГЕНЕЗ | |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Марка вугілля | Г | ГЖ | Ж | К |
| Піско- вики ру- сел рік | Кварц вторинний, % | | | <u>0 – 9</u> 2,8 | <u>2 – 10</u> 5,8 |
| | Пористість, % | | | <u>2,9 – 10,0</u> 6,9 | <u>4, 7 – 10,2</u> 6,5 |
| | Коефіцієнт метамор- фічності | | | <u>0,06 – 0,39</u> 0,17 | <u>0,22 – 0,54</u> 0,36 |
| | Розмір зерен, мм | | | <u>0,14 – 0,28</u> 0,21 | <u>0,14 – 0,55</u> 0,31 |
| Піско- вики під- водних виносів рік | Кварц вторинний, % | <u>0 – 4</u> 2,3 | <u>0 – 5</u> 2,8 | <u>0 – 10</u> 3,9 | <u>1 – 10</u> 4,0 |
| | Пористість, % | <u>1,6 – 9,3</u> 6,8 | <u>1,4 – 13,2</u> 6,1 | <u>1,9 – 9,8</u> 6,4 | <u>1,9 – 9,3</u> 5,8 |
| | Коефіцієнт метамор- фічності | <u>0,09 – 0,29</u> 0,2 | <u>0,1 – 0,43</u> 0,24 | <u>0,1 – 0,43</u> 0,25 | <u>0,13 – 0,4</u> 0,25 |
| | Розмір зерен, мм | <u>0,1 – 0,56</u> 0,19 | <u>0,14 – 0,33</u> 0,22 | <u>0,12 – 0,3</u> 0,2 | <u>0,11 – 0,53</u> 0,22 |
| Піско- вики уз- бережжя моря | Кварц вторинний, % | | <u>0 – 2,5</u> 0,9 | <u>0 – 4</u> 1,2 | <u>0 – 5</u> 1,5 |
| | Пористість, % | | <u>3,5 – 5,0</u> 4,2 | <u>3,0 – 4,0</u> 3,6 | <u>2,2 – 6</u> 3,8 |
| | Коефіцієнт метамор- фічності | | <u>0,09 – 0,21</u> 0,13 | <u>0,14 – 0,18</u> 0,16 | <u>0,13 – 0,29</u> 0,18 |
| | Розмір зерен, мм | | <u>0,09 – 0,17</u> 0,13 | <u>0,09 – 0,14</u> 0,12 | <u>0,1 – 0,14</u> 0,12 |

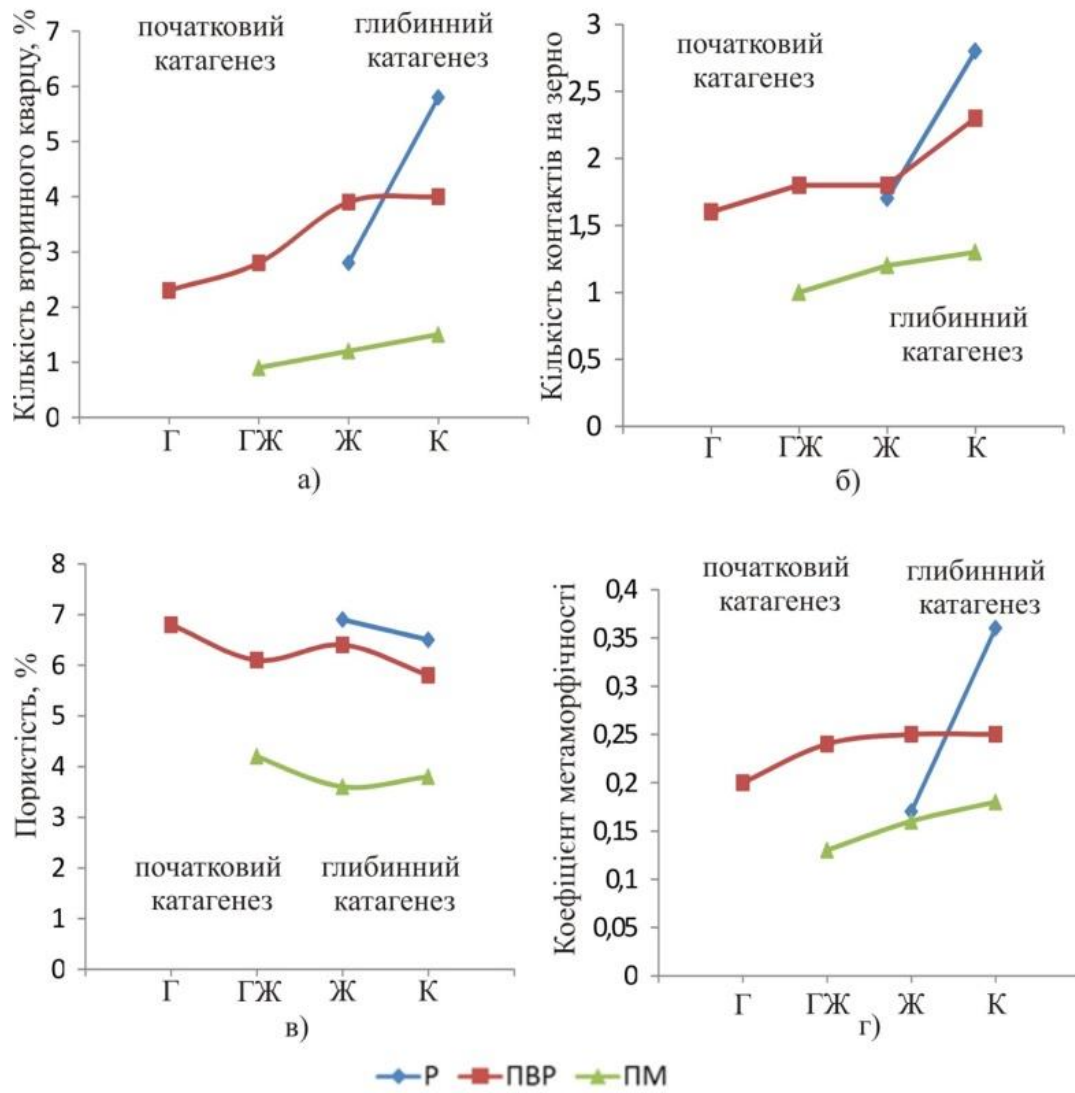


Рис. 2. Основні показники структурних перетворень пісковиків зі зміною ступеня катагенезу для пісковиків різних генетичних типів: а) кількість вторинного кварцу, б) кількість контактів на зерно, в) пористість; г) коефіцієнт метаморфічності. Умовні позначення: Р – руслові пісковики; ПВР– пісковики підводних виносів рік; ПМ – пісковики узбережжя моря

Зі зменшенням пористості спостерігається регіональне зменшення викидонебезпечності, що зумовлено дією регіональних факторів тектоніки і катагенезу. Процеси осадоагромадження визначають мінеральний склад, структурно-текстурні особливості, мікроструктуру пісковиків, їхню природну газонасиченість та потенційну здатність до викидів.

Шари пісковиків Південно-Західного вугленосного району загалом мають хороші колекторські властивості. Вони значною мірою насичені водою і зона активного водообміну знаходиться значно глибше, ніж у вугільних пластах з пониженою газопроникністю і тих, що залягають серед газонепроникних аргілітів і алевролітів.

Тяглівське і Любельське родовища ЛВБ відрізняються за газонасиченістю вуглепородного масиву. Тяглівське є найбільш газонасиченим в басейні. Природна газонасиченість вугільних пластів Тяглівського родовища змінюється в широких межах –

від 2,1 до 31 м³/т с.б.м. (м³/тонну сухої беззольної маси) [29]. Висока газонасиченість вугленосної товщі Тяглівського родовища зумовлена близькістю до Великомоствівського газового родовища та можливістю міграції газів з газонасичених порід девону у кам'яновугільні відклади [18]. На картах газонасиченості вугільних пластів Тяглівського родовища чітко прослідковується, що збільшення газонасиченості приурочене до тектонічних розломів [29].

Особливістю Любельського родовища є низька газонасиченість вугленосної товщі, що пов'язано з дегазацією вугільних пластів та вуглевмісних пісковиків унаслідок регіонального епігенетичного розмиву та присутністю в покрівлі продуктивної товщі тріщинуватих грубоуламкових теригенних юрських відкладів [1]. Для більшості вугільних пластів газ відсутній або його вміст складає від 0,2 до 0,48 м³/т с.б.м. Проте в окремих свердловинах для пластів n₉, n₈, n₇¹ відмічаються

аномальні значення ($8,3 - 19,3 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$). Пласт n_0^6 належить до метанової зони на всій території Любельського родовища [8, 25].

Можливість нагромадження газів у гірських породах визначається геологічними, тектонічними умовами та ступенем постседиментаційних змін у масивах гірських порід. На ранніх стадіях метаморфізму вугілля (катагенезу порід) нагромадження газів може відбуватися лише за умови утворення структурно-тектонічних та інших пасток.

Формування локальних антиклінальних структур (деформація розтягнення) є достатнім для порушення суцільності порід. Крихіткі деформації розриву зумовлюють утворення тріщинуватої зони у склепінній частині складки, що призводить до зростання загальної пористості порід. На шахті ім. Засядька в Донецькому басейні, яка є небезпечною за раптовими викидами вугілля і порід, встановлено, що максимальні газовияви розташовуються нерівномірно за площею і пов'язані з піднесеними частинами антиклінальних флексур [5].

При дослідженні пісковиків поля шахти Тяглівська № 1 встановлено наявність незначних антиклінальних структур, що ускладнюють положі крила синкліналі, до яких приурочене значне збільшення газоносності [10]. Отже, за умов виникнення додаткової тріщинуватості в зоні локальних антиклінальних піднять, слабопроникні пісковики, якими зазвичай є вуглевмісні пісковики ЛВБ, стають кращими колекторами для накопичення вугільних газів. Водночас вони можуть бути потенційно небезпечними за раптовими вибухами породи і газу.

Нами побудовані повздовжні та поперечні літолого-стратиграфічні розрізи по Тяглівському і Любельському родовищах із зазначенням викидонебезпечної ситуації. Дослідження проводились з визначенням комплексного показника «В» [9, 14, 22]. На Тяглівському родовищі вугленосна товща досліджувалась в інтервалі v_5Sn_9 (глибини від 650 до 1300 м). На Любельському родовищі – в інтервалі v_5Sn_9 (глибини від 650 до 1500 м).

Більшість досліджених пісковиків переважно викидобезпечні. Це пояснюється речовинним складом пісковиків ЛВБ, які містять порівняно з викидонебезпечними пісковиками Донбасу, меншу кількість уламкового і регенераційного кварцу, мають дрібніші зерна з невеликою протяжністю контактів між ними. Окрім цього, пісковики на Тяглівському родовищі відрізняються підвищеним вмістом слюдисто-глинистих мінералів, що збільшує їх пластичність і тим самим зменшує викидонебезпечність.

У статті наведено повздовжні розрізи для Тяглівського і Любельського родовищ (рис. 3).

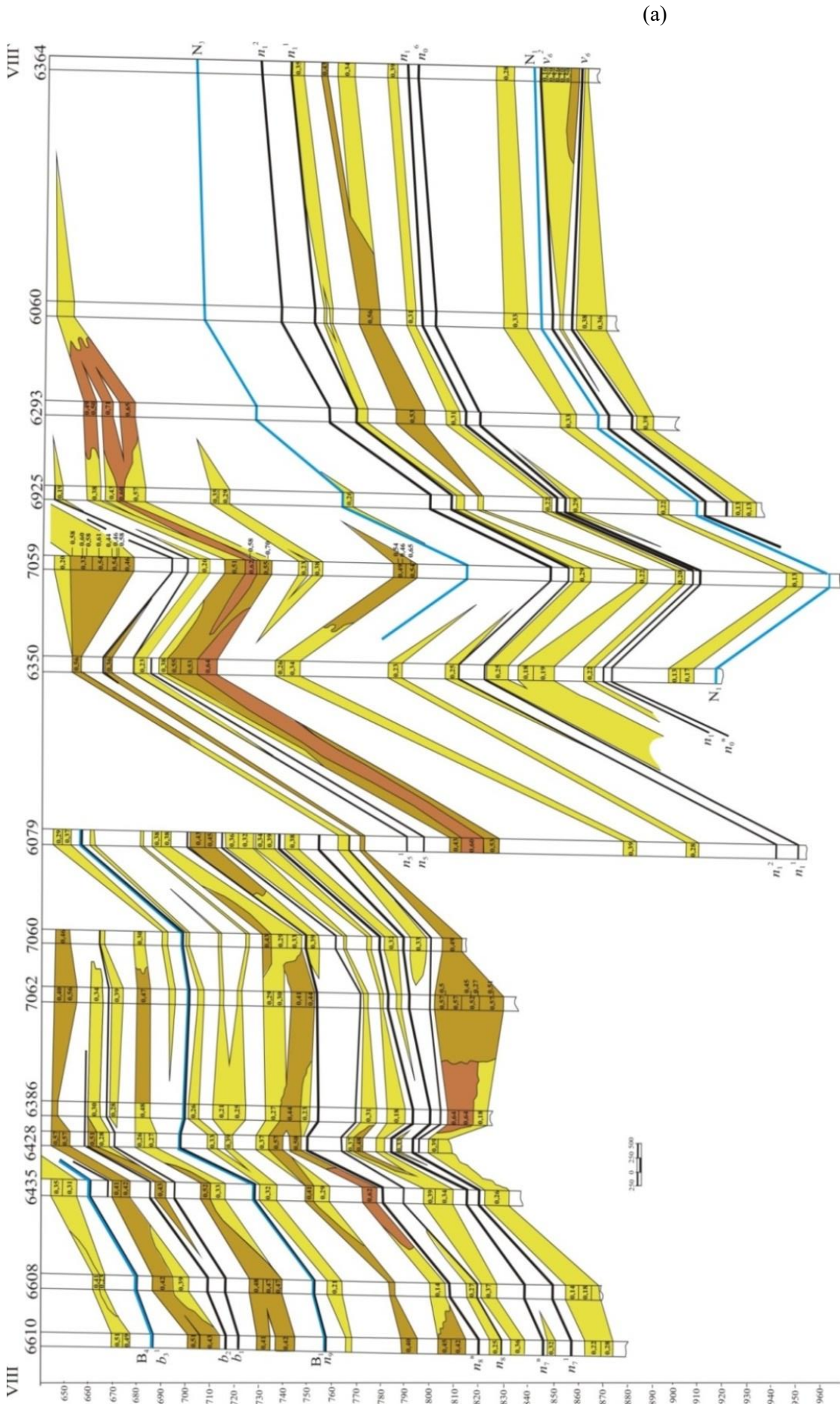
Переважно викиди для ЛВБ прогноуються лише для окремих прошарків або лінз пісковиків. На Тяглівському і Любельському родовищах виділено прошарки і лінзи пісковиків низького (“В”=0,4–0,6) і високого (“В”>0,6) ступеня викидонебезпечності.

Для Тяглівського родовища (рис. 3-а) особливої уваги заслуговують пісковики N_3Sn_5 , $n_6^1Sn_7$, $n_8^8Sn_9$, які майже по всьому їх простяганню мають низький (“В”=0,4 – 0,57), а в окремих пропластках і лінзах – високий ступінь викидонебезпечності (“В”=0,6 – 0,7). На півночі родовища вони стають більш викидонебезпечними в інтервалі глибин від 650 до 900 м. Техніко-економічне обґрунтування будівництва шахти “Тяглівська № 1” передбачало проходку стволів і інших виробок на глибинах 855 і 870 м. Отже, пласти саме цих пісковиків заслуговують додаткової уваги.

Для Любельського родовища (рис. 3-б, в) викидонебезпечним є шар пісковика $n_6^1Sn_7$, що підтверджується повздовжнім і поперечними розрізами. Цьому шару властиві як низькі (0,4 – 0,6), так і високі (>0,6) значення коефіцієнту “В”. Отже, пісковик $n_6^1Sn_7$ Любельського родовища потенційно викидонебезпечний. У південній частині Любельської площі слід звернути увагу на пісковики $n_6^1Sn_7$, $n_7^1Sn_8$, які поширені на глибині 750 – 1100 м. В цьому інтервалі знаходяться основні робочі вугільні пласти бужанської світи і у зв'язку з цим передбачається проходка стволів і інших виробок майбутньої шахти “Любельська № 1–2”. По окремих свердловинах пісковик $n_6^1Sn_7$ має ще й підвищену газоносність. За попереднім прогнозом у шарах пісковиків $n_6^1Sn_7$, $n_7^1Sn_8$ можна очікувати викиди значної інтенсивності.

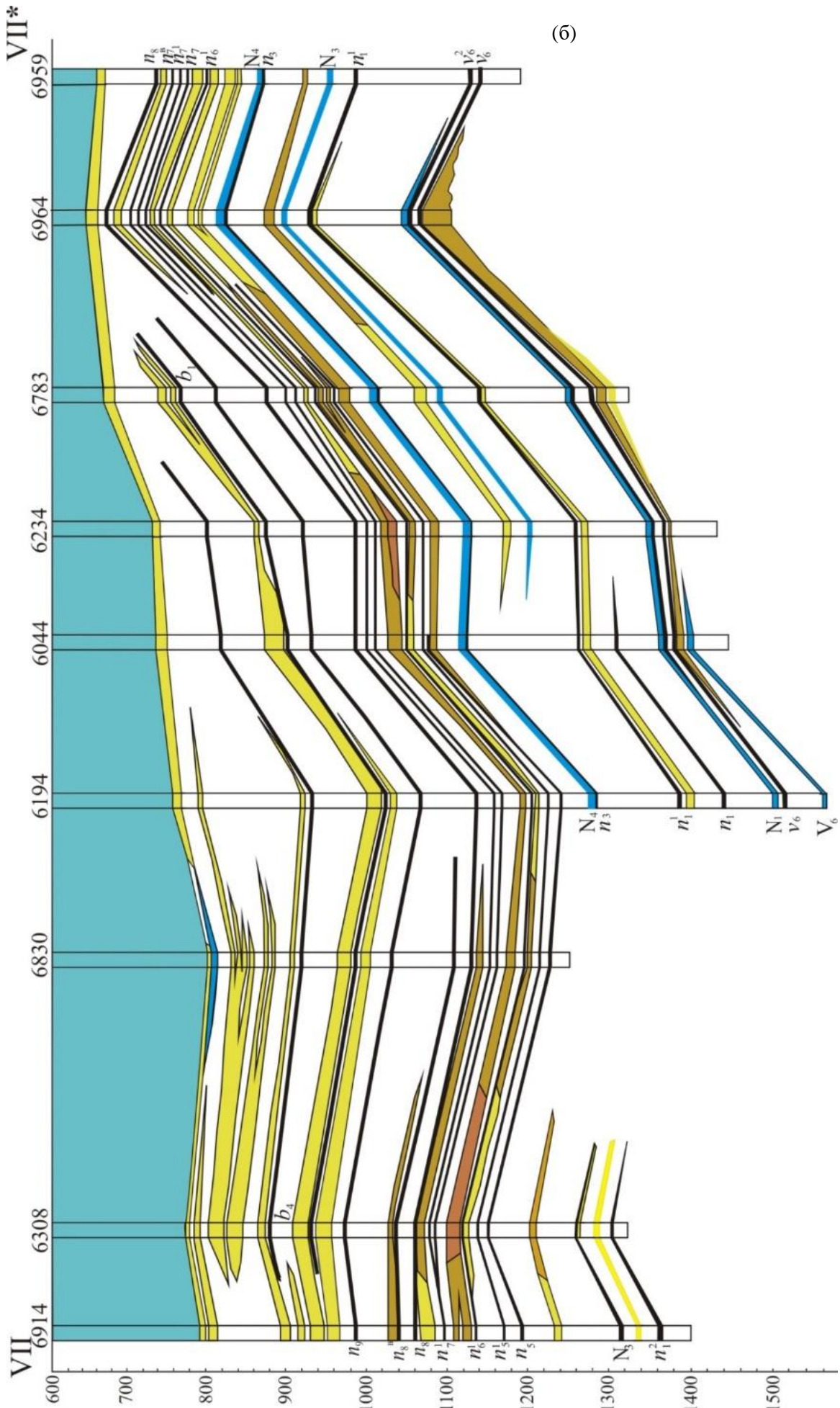
Слід також зауважити, що для потужних пісковиків (20 – 30 м) спостерігається зміна потенційної здатності до вибухів по простяганню і товщині пласта. Такими є для Тяглівського родовища пісковики N_3Sn_5 , $n_6^1Sn_7$, $n_8^8Sn_9$, для Любельського – $n_6^1Sn_7$. Це явище пояснюється зміною фаціальних умов осадоагромадження піщаних відкладів у межах одного стратиграфічного горизонту, що призводить до частих змін колекторських властивостей, різної інтенсивності структурних перетворень як проявів катагенетичних явищ в процесі метаморфізму вугленосної товщі.

Висновки. Більшість досліджених пісковиків Тяглівського і Любельського родовищ Південно-Західного вугленосного району ЛВБ переважно викидобезпечні. На це вказують значення комплексного показника викидонебезпечності «В», переважно менші 0,4. За структурно-текстурними показниками, ступенем перетворення певних мінералів-індикаторів, наявністю вторинних контактів між зернами та значенням коефіцієнта метаморфічності «С» встановлено, що пісковики



(a)

Рис. 3-а. Літолого-стратиграфічний розріз з викидонезбезпечною ситуацією по профілю VIII–VIII' Тягльське родовище (за матеріалами Л. Н. Грещак, П. М. Явний [14]). Умовні позначення: 1 – номер свердловини; 2 – вугільний пласт; 4 – вапняк; 5 – викидонезбезпечний пісковик («В» < 0,4); 6 – пісковик низького ступеню викидонезбезпечності (0,4 < «В» < 0,6); 7 – викидонезбезпечний пісковик (0,6 < «В» < 1,0), 8 – теригенно-карбонатна товща (J₃–K₂)



(6)

Рис. 3-б. Літолого-стратиграфічний розріз з викидонезбезпечною ситуацією по профілю VII–VII*(а) північна частина Любельського родовища (за матеріалами Л. Н. Грещак, П. М. Явний [14]). Умовні позначення див. рис. 3-а

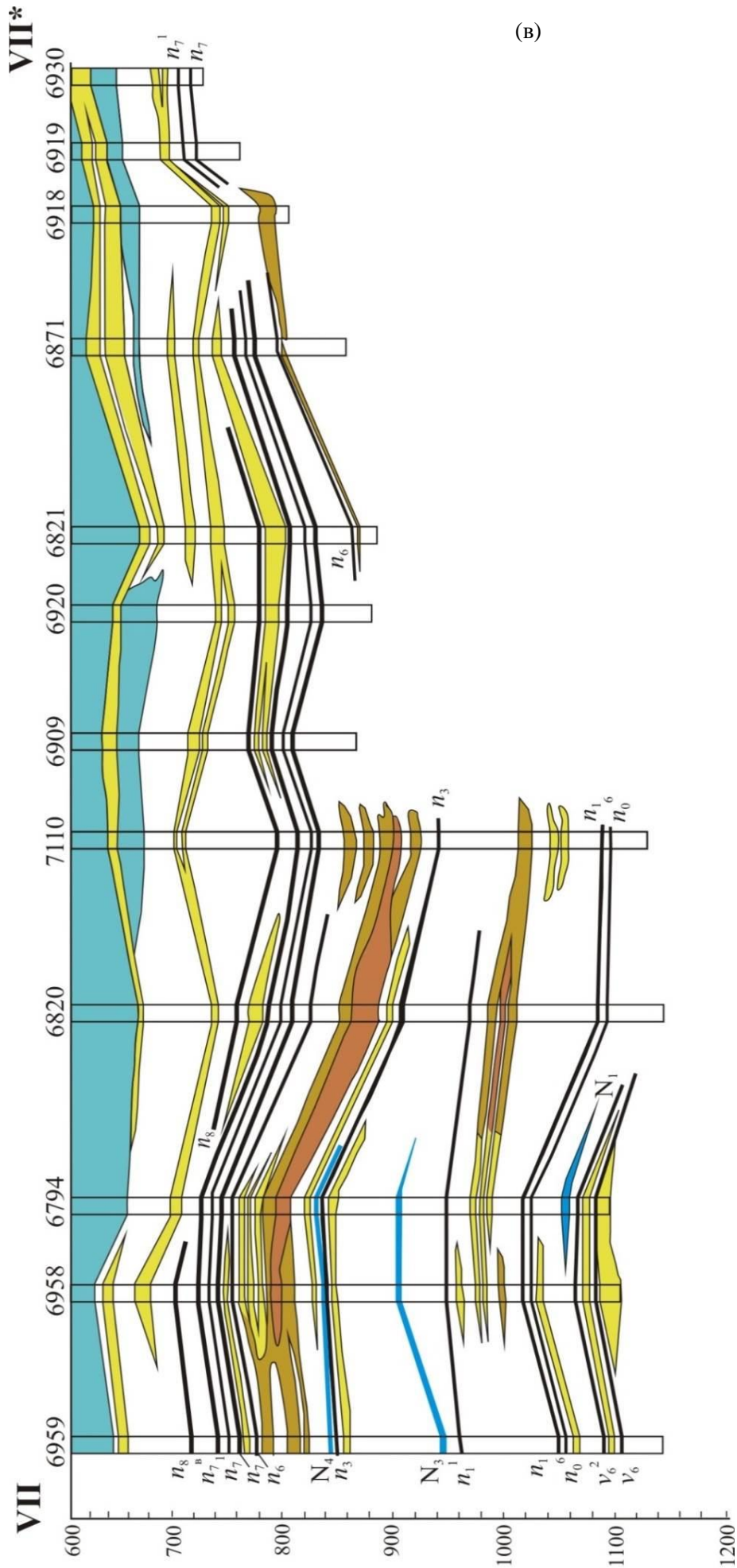


Рис. 3-в. Літолого-стратиграфічний розріз з викидонебезпечною ситуацією по профілю VII–VII* (б) південна частина Любелського родовища (за матеріалами Л. Н. Грещак, П. М. Явний, [14]). Умовні позначення див. рис. 3-а

Р, ПВР і ПМ Південно-Західного вугленосного району ЛВБ відносяться до стадій початкового і глибинного катагенезу. Для пісковиків стадії глибинного катагенезу при певних визначених умовах можливим є виникнення раптових викидів порід.

За комплексним показником викидонебезпечності «В» у вугленосній товщі Тяглівського і Любельського родовищ на глибоких горизонтах виділяються шари і лінзи пісковиків, потенційно здатних до раптових викидів. Для порід Тяглівського родовища, як більш газоносного в басейні, потенційна загроза викидів порід більша.

Особливо це стосується локальних антиклінальних піднять, що ускладнюють крила Тяглівської синкліналі. Лінзи потенційно викидонебезпечних пісковиків виділені також у нерівномірно

дегазованій товщі Любельського родовища. За своїми структурно-текстурними особливостями вони щільні, з великою кількістю жорстких вторинних інкорпораційних і сутурних контактів між зернами. Поєднання напруження тектонічного характеру зі значною крихкістю пісковика є достатньою умовою для виникнення і раптового вивільнення високого напруженого стану в породах [4].

Дослідження Південно-Західного району є невід'ємною частиною комплексного вивчення вугленосної товщі ЛВБ як газувугільного родовища. Виділення шарів і лінз пісковиків, потенційно здатних до раптових викидів, є актуальним з точки зору нарощування мінерально-сировинної бази басейну за рахунок освоєння нових площ та глибоких горизонтів.

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

Література

1. Анцыферов А. В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины [Текст] / А. В. Анцыферов, А. А. Голубев, В. А. Канин и др. // УкрНИМИ НАН Украины. – Изд-во Вебер (Донецкое отделение). – Донецк, 2010. – Т. 2. – 478 с.
2. Бартошинская Е. С. Угленосные формации карбона юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы [Текст] / Е. С. Бартошинская, С. И. Бык, А. А. Муромцева и др. – Киев: Наук. думка, 1983. – 172 с.
3. Безручко К. А. Опыт применения метода локального прогноза выбросоопасности песчаников на шахтах Донбасса [Текст] / К. А. Безручко // Уголь Украины. – 2015. – № 12. – С. 42–44
4. Большинский М. И. Газодинамические явления в шахтах [Текст] / М. И. Большинский // Севастополь: Вебер, 2003. – 285 с.
5. Булат А. Ф. Умови формування газових пасток у вугленосних відкладах [Текст] / А. Ф. Булат, В. В. Лукинов, К. А. Безручко // Київ: Наукова думка, 2017. – 250 с.
6. Булат А. Ф. Геологические основы и методы прогноза выбросоопасности угля, пород и газа [Текст] / А. Ф. Булат, В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко и др. // Днепрпетровск: Монолит, 2012. – 360 с.
7. Булат А. Ф. Угленородный массив Донбасса как гетерогенная среда [Текст] / А. Ф. Булат, Е. Л. Звягильский, В. В. Лукинов и др. // Киев: Наук. думка, 2008. – 411 с.
8. Бучинська І. В. Вугленосність і розподіл вугільних газів у розрізі нижнього карбону Любельського родовища Львівсько-Волинського басейну [Текст] / І. В. Бучинська, П. М. Явний, І. Б. Книш, О. М. Шевчук // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2011. – №3–4. – С. 57–67
9. Бучинська І. Оцінка викидонебезпечності пісковиків Любельського родовища Львівсько-Волинського басейну [Текст] / І. В. Бучинська, О. М. Шевчук, Р. Круглова // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2017. – № 1–2 (170–171). – С. 31–32.
10. Бучинська І. В. Літологічний склад, колекторські властивості та газоносність пісковиків кам'яновугільного віку Львівсько-Волинського вугільного басейну (поле шахти Тяглівська № 1) [Текст] / І. В. Бучинська // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 2 (151). – С. 30–35.
11. Быков Л. Н. О природе внезапных выбросов полезных ископаемых в шахтах [Текст] / Л. Н. Быков // Вопросы безопасности в угольных шахтах. – Тр. Вост. НИИ. – Т. 5. – М. Недра, 1964. – С. 87–125.
12. Вереда В. С. К вопросу о региональном прогнозе выбросоопасности песчаников в Донецком бассейне [Текст] / В. С. Вереда // Докл. АН СССР. – 1971. – №3. – С. 667–670.
13. Волошин Н. Е. Основы тектонофизической теории выбросов твердых ископаемых и пород в шахтах [Текст] / Н. Е. Волошин // Донецк: СПД Дмитренко, 2007. – 64 с.
14. Газоносность и выбросоопасность углей и вмещающих пород Юго-Западного углепромышленного района Львовско-Волинского бассейна [Текст] / Л. Н. Грещак, П. М. Явний, И. В. Зборивец и др. // Львов, 1991. – Т. 1 – 89 с.
15. Забигайло В. Е. Минеральный состав, структура и текстура выбросоопасных песчаников Донбасса [Текст] / В. Е. Забигайло, Е. А. Моссур // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа. // Киев: Наукова думка, 1973. – С. 348 – 358
16. Забигайло В. Е. Выбросоопасность горных пород Донбасса [Текст] / В. Е. Забигайло, В. В. Лукинов, А. З. Широков // Киев: Наук. думка, 1983. – 866 с.
17. Забигайло В. Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность [Текст] / В. Е. Забигайло, В. И. Николин // Киев: Наук. думка, 1990. – 168 с.

18. Іванов О. К. Прогнозна оцінка газозбагаченості нових шахтних полів Львівсько-Волинського басейну [Текст] / О. К. Іванов, В. О. Кушнірук // Геологія і геохімія горючих копалин. – Київ: Наук. думка, 1971. – Вип. 24. – С. 69–74.
19. Кравцов А. И. Литолого-фаціальна приуроченість і деякі фізико-механічні властивості вибросо-опасних порід в Донбасі [Текст] / А. И. Кравцов, Л. С. Вольпова // Технологія добычі угля підзем. способом, 1967. – № 2. – С. 80–82.
20. Логвиненко Н. В. Методи визначення осадових порід [Текст] / Н. В. Логвиненко, Э. И. Сергеева. // Недра, 1986. – 240 с.
21. Николін В. И. Гіпотеза механізму виброса порід [Текст] / В. И. Николін // Выбросы пород и газа. – Киев: Наук. Думка, 1971. – С. 16–72.
22. Побережський А. В. Викидонебезпечність пісковиків Тяглівського родовища Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського басейну [Текст] / А. В. Побережський, І. В. Бучинська, П. М. Явний, О. М. Шевчук // Геологічний журнал. – 2016. – № 4. – С. 53–64.
23. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Офіц. вид. – К.: Мінвуглепром України, 2005. – С. 42–48 (нормативний документ Мінвуглепрому України).
24. Скочинський А. А. Сучасні уявлення про природу випадкових вибросів угля і газу в шахтах і заходи боротьби з ними [Текст] / А. А. Скочинський // Уголь, 1954. – № 7. – С. 4–10.
25. Сокоренко С. Особливості сучасної природної газоносності вугільних пластів та вуглевмісних порід Любельського родовища кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну [Текст] / С. Сокоренко, І. Костик, М. Матрофайло // Геолог України. – 2011. – № 2 (34). – С. 81–89.
26. Ходот В. В. Випадкові виброси угля і газу [Текст] / В. В. Ходот // М.: Госгортехиздат, 1961. – 368 с.
27. Шатилов В. А. Випадковий виброс породи [Текст] / В. А. Шатилов // Уголь України. – 1957. – № 7. – С. 29–31.
28. Шульга В. Ф. Кореляція карбонівих вугленосних формацій Львівсько-Волинського і Люблінського басейнів [Текст] / В. Ф. Шульга, А. Здановски, Л. Б. Зайцева і др. // Киев: Варта, 2007. – 427 с.
29. Явний П. Прогноз газоносності вугільних пластів Тяглівського родовища Львівсько-Волинського басейну [Текст] / Петро Явний, Іван Книш, Ірина Бучинська, Святослав Бик // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2009. – № 2. – С. 39–51.

UDC 552.57/552.513(477.83)

Irina Buchynska,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, 3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,
e-mail: ibuchynska@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8154-4485>;

Olena Shevchuk,

Assistant Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine
e-mail: olena.shevchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2370-5826>;

Andriy Poberezhskyy,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine
e-mail: igggk@mail.lviv.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4622-0725>

SANDSTONES BLOWOUT RISK IN THE SOUTH-WESTERN REGION OF LVIV-VOLYN COAL BASIN

The aim of the research. Investigation of coal-containing sandstones of the Tyagliv and Lyubelya fields of the Lviv-Volyn Coal Basin (LVB) has shown their potential ability for rapid blowout of rocks and gas.

Methodology. Studies of structural-textural peculiarities of sandstones, determination of complex indication of blowout risk “B”, construction of lithological-stratigraphic sections, focus on the situation of blowout risk.

Results. In the Tyagliv and Lyubelya fields the rocks of Buzhanka Suite of the Lower Carboniferous and the rocks of the Morozovychi Suite of the Bashkirian stage of the Middle Carboniferous have been studied. On the basis of the structural-textural peculiarities of sandstones, studies of their reservoir properties and gas presence it has been possible to prove the probability of the existing rock blowouts at depths more than 700 m for the South-Western coal-bearing region of the LVB. By structural-textural indexes, transformation stages of certain minerals indicators, presence of secondary contacts between grains and values of the metamorphism

coefficient “C”, it has been established that sandstones R, PVR and PM of South-Western coal-bearing region belong to the stages of initial and deep catagenesis. Occurrence of sudden blowouts of rocks is possible for the sandstones of deep catagenesis stage under certain determined conditions.

Layers and lenses of sandstones, potentially capable for sudden blowouts, are distinguished by the complex index of blowout danger “B” in the coal-bearing sequence of Tyahliv and Lyubela fields in deep horizons.

For the rocks of Tyahliv field, which is more gas-bearing within the basin, the potential danger of blowouts is greater. Especially this refers to the local anticline highs, which complicate sections of the Tyahliv syncline.

Lenses of potentially blowout dangerous sandstones have been distinguished also in unevenly degassed sequence of the Lyubela field. By their structural-textural features they are dense with great amount of rigid secondary incorporation and suture contacts between grains. Combination of increased stress of tectonic nature with significant brittleness of the sandstone is a sufficient condition for sudden release of highly stressful conditions in rocks.

Scientific novelty. Application of the complex approach to the study of rock layers together with structural-textural peculiarities, determination of stages of catagenetic transformation is an important factor for establishment of reasons, factors of blowout risk phenomenon in coal-bearing rocks on the whole.

Practical significance. Investigation of occurrence and spread of the gas-dynamic phenomena (blowouts of coal, rocks and gas, mountain shocks) are an integral part of gas-coal fields study.

Investigation of the sandstones in South-Western coal-bearing region of LVB, allocation of the layers and lenses of sandstones, potentially capable for sudden blowouts, are relevant from the point of view of increasing the mineral-resource base of the basin by developing new deep horizons.

References

1. Ancyferov A. V. Golubev A. A., Kanin V. A. et al. (2010). *Gas-bearingness and resources of methane in coal pools of Ukraine UkrNIMI NAN Ukrainy. Donetsk, Veber, 2. 478.*
2. Bartoshinskaya E. S., Byk S. I., Muromtcheva A. A. (1983). *Carboniferous formations of the south-western margin of the East European Platform. Kiev: Nauk. Dumka. 172.*
3. Bezruchko K. A. (2015) *Experience in applying local forecasting method of sandstorm emissions in the mines of Donbass. Ugol' Ukrainy. 12. 42–44.*
4. Bol'shinskij M. I. (2003). *Gas dynamics phenomena in mines. Sevastopol': Veber. 285.*
5. Bulat A. F., Lukinov V. V., Bezruchko K. A. (2017). *Conditions for the formation of gas traps in coal deposits. Kyiv: Naukova dumka. 250.*
6. Bulat A. F., Lukinov V. V., Pimonenko L. I., Bezruchko K. A., Burchak A. V. (2012). *Geological bases and forecast methods of outburst danger of coal, rocks and gas. Dnipropetrovsk: Monolit. 360.*
7. Bulat A. F., Zviagilsky E. Z., Lukinov V. V. et al. (2008). *Coal-rock massif of Donbass as heterogeneous medium. Kiev: Naukova dumka. 411.*
8. Buchynska I., Yavny P., Knysh I., Shevchuk O. (2011). *Coal-bearing potential and gas distribution in the cross-section of the Lower Carboniferous of the Lyubelya field of the Lviv-Volyn Basin. Geology & Geochemistry of combustible minerals. 3–4(156 – 157). 57–67.*
9. Buchynska I., Shevchuk O., Yarynych O. (2017). *Assesment of outburst danger of sandstones in the Lyubelya field of the Lviv-Volyn Basin. Geology & Geochemistry of combustible minerals. 1–2 (170–171), 31–32.*
10. Buchynska I. (2010) *Lithological composition, reservoir properties and gas-bearing potential of sandstones of the Carboniferous age in the Lviv-Volyn coal basin (the Tyaglylivska-1 mine field). Geology & Geochemistry of combustible minerals. 2 (151). 30–35.*
11. Bykov L. N. (1964) *On the nature of sudden outbursts of minerals in mines. Problems of safety in coal mines. Proceedings of the Eastern Scientific Research Institute, 5. Moscow, Nedra, 87–125.*
12. Vereda V. S. (1971) *On the question on the regional forecast of outburst danger of sandstones in the Donetsk basin. Rep. AS USSR. 3. 667–670.*
13. Voloshyn N. E. (2007). *Principles of tectonophysical theory of outbursts of solid minerals and rocks in mines. Donetsk: EEA Dmytrenko. 64.*
14. Greshchak L. N., Yavny P. M., Zborivets I. V. et al. (1991) *Gas presence and outburst danger of coal and enclosing rocks of the South-Western coal-producing region of the Lviv-Volyn Basin. Lviv: Geological Exploration Expedition Report. 89.*
15. Zabigailo V. E., Mossur E. A. (1973). *Mineral composition, structure and texture of outburst-dangerous sandstones of Donbass. Problems of the theory of outburst of coal, rocks and gas. Kiev, Naukova dumka, 348–358.*
16. Zabigailo V. E., Lukinov V. V., Shyrovkov A. Z. (1983). *Outburst danger of rocks of Donbass. Kiev, Naukova dumka. 866.*
17. Zabigailo V. E., Nikolin V. I. (1990). *Influence of catagenesis of rocks and metamorphism of coals upon their outbursts. Kiev: Naukova dumka, 168.*
18. Ivanov O. K., Kushniruk V. O. (1971). *Forecast estimate of gas saturation of new mine fields of the Lviv-Volyn Basin. Geology and Geochemistry of Combustible Minerals. Kyiv, Naukova dumka, 24, 69–74.*

19. Kravtsov A. I., Volpova L. S. (1967). *Lithological-facies coincidence and some physical-mechanical properties of outburst-dangerous rocks in Donbass. Technology of coal production by underground methods*, 2, 80–82.
20. Logvinenko N. V., Sergeeva E. I. (1986) *Methods of sedimentary rocks determination. Moscow, Nedra*, 240.
21. Nikolin V.I. (1971) *The hypothesis of rock outbursts mechanism. Outbursts of rock and gas. Kiev, Naukova dumka*, 16–72.
22. Poberezhshkyy A.V., Buchynska I. V, Yavny P.M., Shevchuk O. M. (2016). *Outburst hazard of sandstones of the Tyagily field of the South-Western coal region of the Lviv-Volyn Basin. Geological journal*, 4(357), 53-64.
23. *Regulations of conducting mining works on seams inclined to gasodynamic phenomena: COY 10.1.00174088.011-2005(normative document of Minvugleprom of Ukraine) (2005). Kiev, Minvugleprom of Ukraine*, 42–45.
24. Scochinsky A. A. (1954). *Modern notions of the nature of sudden outbursts of coal and gas in mines and measures to prevent them. Coal*, 7, 4-10.
25. Sokorenko S., Kostik I., Matrofailo M. (2011). *Peculiarities of modern natural gas potential of coal seams and coal-containing rocks of the Lyubelya field of coal of the Lviv-Volyn Basin. Geologist of Ukraine*, 2 (34), 81–89.
26. Khodot V. V. (1961). *Sudden outburst of coal and gas. Moscow, Gosgortechizdat*, 368.
27. Shatilov V. A. (1957). *Sudden outburst of rock. Coal of Ukraine*, 7, 29–31.
28. Shulga V. F., Zdanovski A., Zaitseva L. B. et al. (2007). *Correlation of the Carboniferous coal-bearing formation of the Lviv-Volyn and Lublin Basins. Kiev, Varta*, 427.
29. Yavny P., Buchynska I., Knysh I., Byk S. (2009). *Prediction of gas presence in coalbeds of the Tyagily field of the Lviv-Volyn Basin. Geology & Geochemistry of combustible minerals*, 2 (147), 30–35.

UDC 553.98:551.49(447.8)

Vasyl Yuriiovych Harasymchuk,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, 3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,
e-mail: v_harasymchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4377-2655>;

Halyna Bohdanivna Medvid,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: halmedvid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>;

Olga Volodymyrivna Teleguz,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: olga_teleguz@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5761-7528>;

Mariia Viktorivna Kost',

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: m_kost_2007@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8741-9063>

THE HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VOLYN-PODILLYA OIL AND GAS-BEARING REGION

В. Ю. Гарасимчук, Г. Б. Медвідь, О. В. Телегуз, М. В. Кость. ГИДРОДИНАМІЧНІ УМОВИ ВОЛИНО-ПОДІЛЬСЬКОЇ НАФТОГАЗОНОСНОЇ ОБЛАСТІ. Мета роботи полягала у дослідженні параметрів та генези природної гідродинамічної системи Волино-Подільської нафтогазоносної області та її впливу на механізми формування і просторового розміщення газових покладів. Регіон дослідження охоплює структури Східноєвропейської та Західноєвропейської платформ у межах Західної України. Для роботи використано дані, отримані з фондів ДП «Львівгазвидобування» та ДП «Західукргеологія». Методика досліджень базувалася на аналізі зміни величин пластових тисків і коефіцієнта гідростатичності по площі та по вертикалі перетину. Встановлено, що гідрогеологічна система верхньопротерозойського, кембрійського та нижньодевонського водонесних комплексів має ознаки елізійної. Гідробаричне напруження спрямоване від центральної частини басейну ЛППП до його периферії. Для периферійних частин середньо-верхньодевонського комплексу притаманні ознаки інфільтраційної системи. У порівнянні з відкладами, що залягають нижче, у середньо- та верхньодевонському водонесних комплексах ЛППП гідрогіобаричне напруження спрямоване від периферії до його центральної (найбільш зануреної) частини. Таку гідрогіобаричну обстановку можна пояснити різними генетичними типами водонапірних систем, що існують у розрізі артезіанського басейну ЛППП. Верхньопротерозойський, кембрійський та нижньодевонський водонесні комплекси сформовані, в основному, терригенними утвореннями де водовмісними є високопористі, часто тріщинуваті піщані породи. Середньо- та верхньодевонський водонесні комплекси сформовані, головним чином, карбонатними породами, водовмісними серед яких є горизонти кавернозних, рідше тріщинуватих відкладів. У латеральному плані газові родовища пов'язані з районом підвищеної гідродинамічної напруженості. У вертикальному перетині газові поклади також тяжіють до горизонтів з надгідростатичними тисками. Відсутність витриманих літологічних та тектонічних екранів не сприяла достатній гідродинамічній ізолюваності структур і збереженню тут великих покладів вуглеводнів.

Ключові слова: гідродинамічні умови, нафтогазоносна область, пластовий тиск, коефіцієнт гідростатичності, газовий поклад.

В. Ю. Гарасимчук, Г. Б. Медвідь, О. В. Телегуз, М. В. Кость. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ. Цель работы заключалась в исследовании параметров и генезиса природной гидродинамической системы Вольно-Подольской нефтегазоносной области и ее влияния на механизмы формирования и пространственного размещения газовых залежей. Регион исследования охватывает структуры Восточно и Западно европейской платформ в пределах Западной Украины. Для работы использованы данные, полученные из фондов ГП «Львівгазвидобування» и ГП «Західукргеологія». Методика исследований основана на анализе изменения величин пластовых давлений и коэффициента гидростатичности по площади и по вертикали сечения. Установлено, что гидрогеологическая система верхнепротерозойского, кембрійского и нижнедевонского водонесных комплексов имеет признаки элизийной. Гидробарическое напряжение направлено от центральной части бассейна ЛППП к его периферии. Для периферийных частей средне-верхнедевонских комплексов присущи признаки инфильтрационной системы. По сравнению с отложениями, залегающих ниже, в средне- и верхнедевонских водонесных комплексах ЛППП гидрогеобарическое напряжение направлено от периферии к его центральной (наиболее погруженной) части. Такую гидрогеобарическую обстановку можно объяснить разными генетическими типами водонапорных систем, существующих в разрезе артезианского бассейна ЛППП. Верхнепротерозойский, кембрійский и нижнедевонские водонесные комплексы сформированы в основном терригенными образованиями, где водовмещающими являются высокопористые, часто трещиноватые песчаные породы. Средне- и верхнедевонских водонесных комплексов сформированы, главным образом, карбонатными породами, водовмещающими среди которых являются горизонты кавернозных, реже трещиноватых отложений. В латеральном плане газовые месторождения связаны с районом повышенной гидродинамической напряженности. В вертикальном сечении газовые залежи также тяготеют к горизонтам с надгидростатическими давлениями. Отсутствие выдержанных литологических и тектонических экранов не способствовало достаточной гидродинамической изолированности структур и сохранению здесь больших залежей углеводородов.

Ключевые слова: гидродинамические условия, нефтегазоносная область, пластовое давление, коэффициент гидростатичности, газовая залежь.

Introduction. Formation pressure is an important feature that characterizes the energy of the aquifers, oil-bearing and gas-bearing horizons. Clarification of formation pressure genesis and its parameters gives an understanding of the structure and nature of the hydrodynamic systems, patterns of formation, spatial location and conservation of hydrocarbon accumulations. The main factors that determine dynamics of fluids within the oil and gas-bearing structures are the actual hydrostatic pressure due to the influence of boundary conditions; geostatic pressure; geotectonic pressure; hydraulic connections among the aquifers with different pressures; chemical interaction of waters and rocks and the secondary cementation of pore space [1].

Aliyev, in addition to the above stated main factors which control the dynamics of fluids, also adds gas penetration through tectonic faults from the lower horizons, the possibility of preserving the primary pressure in the submerged structures, and the influence of the temperature of the circulating water [2]. *Formation water pressure (hydrostatic) and conditional hydrostatic pressure (estimated) are distinguished in oil and gas hydrogeology. In order to evaluate the characteristics of the aquifers, the hydrostatic coefficient (P_f/P_e) is used – the ratio of the formation pressure to the estimated pressure.*

Excess of formation pressure over the estimated pressure is called *overpressure* (abnormal). The

necessary conditions for the emergence and conservation of overpressures are the isolation of the fluid-saturated horizons and the addition of external fluids [3]. Taken separately, syngenetic and epigenetic factors of the formation of overpressures are singled out. The first ones include compaction of clay rocks during sedimentogenesis and pressing of pore solutions into collectors, while others are processes that occur after consolidation of clayey strata [4]. Recent studies on the origin and characteristics of superhydrostatic systems are outlined in the works [5, 6, 7].

However, there are many cases where the formation pressure is less than the conditional hydrostatic pressure. Inadequate formation pressure [8] is defined as "fossil", and its nature explains the immersion of isolated aquifers with primary hydrostatic pressures to a greater depth.

New ideas about the nature of hydrodynamic zoning and water exchange in the regional hydrogeological structures are considered in the article [9].

Research area. The Volyn-Podillia oil and gas-bearing region (OGR) is located in the western Ukraine and covers the structures of the Eastern European and the Western European platforms (Fig. 1). At present, Lokachi and Velyki Mosty gas fields are discovered here in the deposits of the Middle and Upper Devonian. Also, non-commercial volumes of gas and oil were obtained in some exploration wells.

Review of previous researches. Due to small

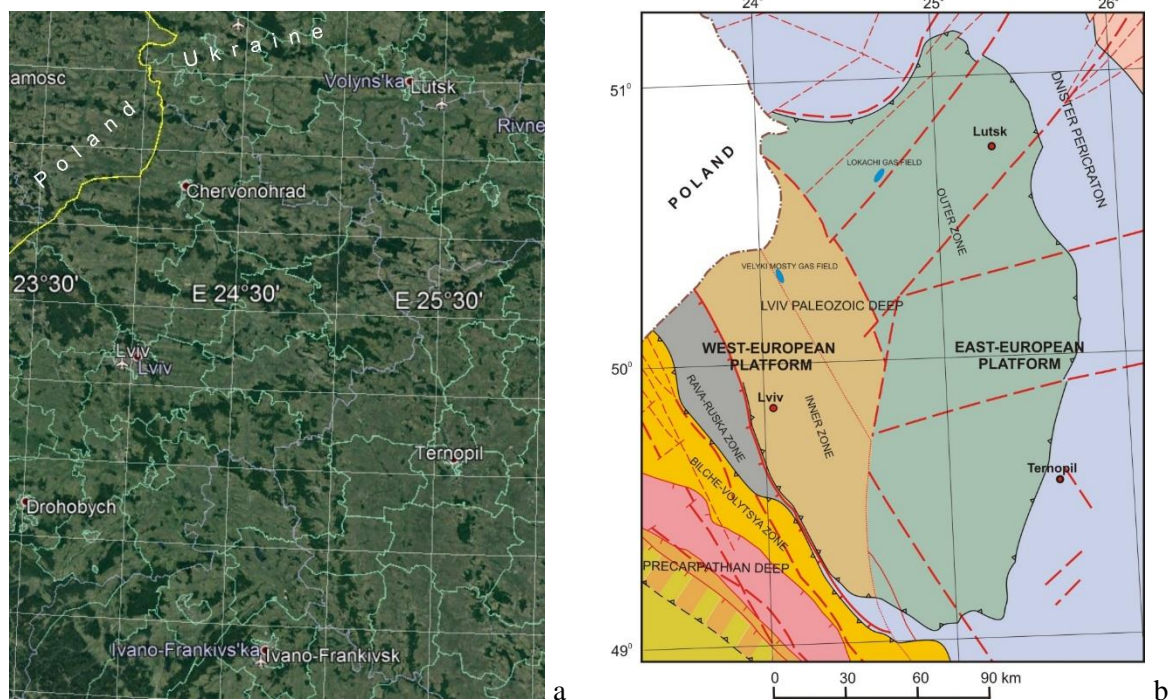


Fig. 1. Geographic (a) [10] and tectonic (b) [11] maps of the western oil and gas region of Ukraine

number of wells, the study of hydrodynamic conditions of the Volyn-Podillia OGR is currently rather weak. The vast majority of studies relates to the

individual structures where dense grid of the wells is drilled for the purpose of exploration and assessment of gas reserves (Lokachi, Velyki Mosty fields).

According to studies of Venglinsky, the water flows in the Precambrian and Cambrian aquifers of the Volyn-Podillia Plate are oriented, mainly in the eastern and western directions from the Ustyluh-Rogatyn zone of deep faults. This area is considered a zone of hydraulic overflows of exfiltration waters of the Archean and Proterozoic aquifers into the upper aquifer complexes. He considers the western slopes of the Ukrainian Crystalline Shield and the Nesteriv anticline the areas of surface water discharges [12].

Investigating the filtration parameters of the aquifers complexes, Venglinsky calculated the velocity of water filtration. For the intensive water exchange zone (aquifers C₁, D₁, D₂) it is 2.5-9.0 cm / year, for the zone of difficult water exchange (S, D₁, D₂ lp) – 0.5-1.8 cm / year, for the zone of very difficult water exchange (C_m, O) – 0.01-0.04 cm / year, for the zone of stagnation mode (PR, AR) – <0.005 cm / year. The velocity of water filtration was calculated in accordance with Darcy's formula.

According to the data of Kolodiy, etc., the absolute static levels of the Cambrian aquifer complex from the Lokachi to Buchach areas decrease in the south-east direction from 275 m to 100 m and lower. The water flow in this complex is in the same direction. Absolute static levels and hydrodynamic of the PR_{3v1} aquifer complex have also the south-east direction. Static levels of the PR_{3r3} aquifer complex also decrease in the south-east direction from 350 m to 125 m [13].

Hydrostatic pressures of the Cambrian aquifer system to depths of 2 km in most cases do not exceed the conditional hydrostatic pressures, according to recent studies. A gradual excess of reservoir pressures over hydrostatic (wells Velyki Mosty -30, Noviy Vitkiv-3, etc.) are observed deeper of this mark. Most of the Cambrian aquifer complex of BPP is described by the researchers as a zone of stagnant water exchange according to hydrogeochemical parameters [14]. There are zones of difficult and free water exchange in the extreme eastern parts of the trough.

Based on the values of the hydrostatic pressures of individual wells, measured at different depth intervals, the researchers [13] assume that «...the basic discharge of deep water occurs in the north-eastern and eastern parts of Volyn-Podillia by successive multistage flowing from the zones of the edge dislocations into the zone of intensive water exchange, perhaps, into the Styr, Ikva, Goryn', Seret, Strypa rivers». Within the Volyn-Podillia Plate, these researchers distinguish two genetic hydrodynamic systems. Infiltration system (Paleozoic complexes) is formed by zones of intensive, difficult and very difficult water exchange. Postex filtration system (Proterozoic and Archean) is characterized by ascending flow of fluids. The conditions of the postex filtration system

are favourable for the accumulation of hydrocarbons in the raised traps.

Data and research methods. The analysis of hydrodynamic conditions and the distribution of values of the hydrostatic coefficient were carried out in order to detect the connection with the zones of the existence of gas deposits.

Our calculations and research were based on the study of initial formation pressures obtained from the cases of wells from the State Enterprise "Lvivgazvydobuvannia" and State Enterprise "Zakhidukrgeologia", which were clarified during testing of exploration wells from 1966 to 2002. A total of 110 measurements of reservoir pressure and static levels from 48 wells from 15 Volyn-Podillia areas have been obtained.

If the measurements of hydrostatic pressures are absent, but there are static level data in the well, the formation pressure is calculated as the product of the water column height in the well for the average value of its specific gravity, taking into account the temperature correction.

If the values of hydrostatic pressure for one well within the same aquifer range are different, then their greatest significance is taken into account, based on possible technical deficiencies during their measurements.

Transformation of hydrostatic pressures to one plane of comparison was carried out according to the Silin-Bekchurin method [15]:

$$P = h_1\gamma_1 + (\gamma_1 + \gamma_2) / 2z, \quad (1)$$

Where:

P – the transformed hydrostatic pressure (MPa),
 h_1 – the height of the water column in the well (m),
 γ_1 – the water density in the well (kg L⁻¹),
 γ_2 – the water density in the selected plane of comparison (kg L⁻¹),
 z – the height of the metering point over the comparison plane (m).

Transformation of the hydrostatic pressures within one aquifer complex has been carried out to the altitude that corresponds to the most common values of depths of this complex.

Results. The Upper Proterozoic aquifer complex unified the aquifers of the common Upper Proterozoic (PR₃), the Polissia series of the Upper Riphean (PR_{3pl}) and the Volyn series of the Lower Vendian (PR_{3vl}). It is discovered by the wells within the Horokhiv, Lutsk, Berestechko, Ovadno, Lytovezh, Chernivtsi areas of the Volyn-Podillya OGR at depths of 510 to more than 3400 m. The hydrostatic levels of the complex were set at depths of 11 to 279 m.

We have constructed maps of hydrostatic pressure, transformed to the plane of -3000 meters using computer programs Surfer and Corell Draw. The map of the Upper Proterozoic aquifer complex (Fig. 2a) depicts a decrease in values of hydrostatic pressure

from the central to the peripheral parts, which is generally spatially correlated with its morphology. Maximum values were measured in the wells of the Horokhiv area (34.1 MPa), the minimum – in the wells of the Litovezh area (31.1 MPa).

In our opinion, the hydrodynamic field that was formed and is existing within the aquifer complex, or individual aquifer of regional water-pressure systems, generally reflects only the potential energy of water that can be changed into kinetic energy (action) only under the following conditions: available supply and discharge areas of the aquifer complex; the total spatial spreading of the complex; absence of stratigraphic and lithologic-facial substitutions, tectonic screens; sufficient capacitive and filtration characteristics of the aquifers.

It is clear that the fulfilment of all the above conditions in natural artesian basins is quite problematic. Only the upper horizons (zone of active water exchange) have more or less favourable conditions for the regional lateral movement (filtration) of water. Its thickness varies in different artesian basins and depends on the impact of the geological, tectonic, paleo-hydrogeological, geomorphological factors.

Tkhostov is critical to the «establishment of the water motion direction» in the natural geohydrodynamic systems: «The conclusions about the directions of regional flows are made mainly on the basis of a small grid of measurements of the pressures or static levels of groundwater» [1].

Investigating the characteristics of many geohydrodynamic systems, he came to the conclusion that «the active circulation of water between the areas of supply and discharge in the sense, as it is accepted by a number of researchers, in general, does not exist in nature». «In the Paleozoic aquifers of the Eastern European Platform, infiltration extends over the short distances, unloading mainly by the natural well-springs» [1].

The Cambrian aquifer complex, which unifies the aquifers of the Lower, Middle and Upper Cambrian deposits, is discovered by the wells in the areas of Horokhiv, Noviy Vitkiv, Peremyshliany, Velyki Mosty, Buchach at an interval of 1300 to 4200 m.

The hydrostatic levels of this complex within the region of research have been stabilized at the depths from 64 to 395 m. The complete dependence of water levels on the depth of the water-bearing rocks of the complex is not observed. Even within one area and close depths, the hydrostatic levels are characterized by quite significant fluctuations. This may testify to weak hydrodynamic relationship between the individual aquifers of the complex, their different water filling and various capacitive-filtration characteristics.

Morphology of the hydrodynamic background of the Cambrian aquifer complex is similar to the

morphology of the Upper Proterozoic complex – a decrease in values of hydrostatic pressures transformed to one plane of comparison, from the center of the Lviv Paleozoic deep to its peripheral parts (Fig. 2b). The piezo-maximum is displaced to south-west – from Horokhiv to Novy Vitkiv area.

The Lower Devonian aquifer complex is discovered by the wells of Kamianka-Buzka, Nesteriv, Velyki Mosty, Lokachi areas.

Deposits of the complex are distributed at depths of 980 to 2560 m. The wells sometimes overflow; maximum depths of the hydrostatic levels reach 385 m. As in previous complexes, in the Lower Devonian aquifer complex there is no complete relationship between the hydrostatic levels and the depths of water-bearing rocks. Different values of the static levels of the aquifer complex within one area and one well also are quite characteristic. The relevant signs may indicate a certain hydrogeological isolation of individual aquifer within the complex.

The morphology of the hydrodynamic field of the Lower Devonian aquifer complex is similar to the morphologies of the lower complexes. The hydrodynamic power is directed from the central part of the basin to its periphery. The piezo-maximum is displaced to Velyki Mosty area (Fig. 2c).

The Middle-Upper Devonian aquifer complex. Due to community of the hydrodynamic conditions (hydrodynamic connection) of the Middle and Upper Devonian aquifers, they are united into a single complex. The complex is discovered by the wells in the Kamyanka-Buzka, Velyki Mosty, Dubliany and Lokachi areas at depth range of 750 to 2380 m. The wells often overflow (north-eastern section of the Lviv Paleozoic deep, Lokachi area), then the static levels fall in the south-western direction to depth of the first tens, sometimes hundreds of meters. In some wells, due to low watering, hydrostatic levels stopped at the depths below 1000 m.

In comparison with the lower complexes the hydrodynamic power of the Middle-Upper Devonian aquifer complex is directed from the periphery to its central (most submerged) part (Fig. 2d).

This hydrodynamic situation can be explained by various genetic types of water-pressure systems existing in the formation of the artesian basin of the Volyn-Podillia OGR. The Upper Proterozoic, Cambrian and Lower-Devonian aquifers are formed mainly by terrigenous formations (argillites, siltstones, sandstones), which are high-porosity, often cracked rocks. Such composition of the rocks, the conditions of paleohydrogeological development and tectonic peculiarities have caused the formation of an exfiltration water-pressure system, the hydrodynamic tension in which extends from the more abyssal places of the sedimentary basin to its peripheral parts. The formation pressures are caused by an increase in

the volume of fluid due to its squeezing out of high capable for compression clay formations into weakly capable for compression sandy rocks.

The Middle-Upper Devonian aquifer complex is formed mainly by the carbonate rocks, water-containing among which are the horizons of cavernous, rarely cracked formations. The cracking and the cavity are not massive, but mainly they are spread along the tectonic deformations. Both lateral and vertical hydrodynamic connections between the individual horizons are weakly expressed, or even completely absent. The peripheral parts of the basin, in places of shallow locality of this complex, can be attributed to the infiltration water-pressure system. The hydrodynamic energy, and in the classical case, water filtration occurs here from the power supply areas to the areas of discharge. Water dynamics in the deep aquifers of the Middle-Upper Devonian complex is considerably limited, or even completely absent.

The hydrodynamic characteristics were studied in this work on the basis of the hydrostatic coefficient (P/P_e) in order to evaluate the impact of the factors that determine the nature and form the state of the hydrodynamic field. This approach allows us to level out different values of specific gravity of groundwater and different depths of measurements of the hydrostatic pressures within the aquifers. It also allows us to estimate the capacity of hydrodynamic energy caused by the impacts of geostatic, geodynamic, post-sedimentary geochemical, deep-fluid-migration and other factors.

In the Upper Proterozoic, Cambrian and Lower Devonian aquifer complexes of the Volyn-Podillya OGR, which are predominantly formed by the terrigenous formations, the values of the hydrostatic coefficients in general are much higher and have much less dispersions (0.91-0.98, 0.80-0.98, 0.82-1.03, accordingly) in comparison with the Middle-Upper Devonian complex. In the Middle-Upper Devonian complex, whose water-containing collectors are mainly represented by carbonate formations, the vast majority has low values for large dispersions (0.25-1.10).

The hydrodynamic energy of the adjacent Bilche-Volytsya ORG) (the Outer zone of the Precarpathian deep) have a much higher values (Fig. 3). The hydrostatic coefficients of the Neogene aquifer complexes, formed by powerful terrigenous strata (the clay with the layers of sandstones), from depths of 1500 m exceed 1.00, reaching the values of 1.56. Also, with increasing depths, the hydrodynamic energy increases in the Upper Cretaceous and the Upper Jurassic aquifers. In spite of the absence of powerful clay formations, at a depth of more than 4000 m hydrostatic coefficient exceeds 1.5.

The factor of exfiltration plays a decisive role in the creation of this tension in the Outer zone. It is caused both by primary squeezing out of pore water

and dehydration of clayey strata. The powerful lithological and widely developed tectonic screens contribute to conservation this of tension and existing hydrocarbon deposits.

By the complex of paleohydrogeological, hydrodynamic and hydrogeochemical researches it has been established that clay-salinity molasses of the covers of the Inner zone and the Carpathian are the source of exfiltration waters for the lower aquifer complexes of the autochthon deposits of the Outer zone of the Precarpathian deep [17, 18].

The alteration of the lateral hydrodynamic field on the basis of the hydrostatic coefficient of the Volyn-Podillya OGR (Fig. 4) was studied by combining the Upper Proterozoic, Cambrian, and Lower Devonian aquifers into a single hydrogeological floor because of proximity of their hydrodynamic characteristics. Absence of sufficient data did not allow carrying out relevant researches for the upper floor (the Upper Devonian aquifer complex).

Hydrodynamic indicators of the lower hydrogeological floor of the Volyn-Podillya OGR shows the increase in hydrodynamic tension from the south to the north part, which reflects the more intense effect of exfiltration processes and better hydrogeological isolation of aquifers.

Also, a certain spatial relationship of the isolines of hydrostatic coefficient with diagonal disjunctive breaks is observed. This can determine them as a way of migrating of the water-hydrocarbon mixtures, which in its turn leads to an increase in fluid volumes in the porous space and, as a consequence, the increase in hydrostatic pressures.

In general, lateral distribution of the Lokachi and Velyki Mosty gas deposits among the general hydrodynamic background of the Volyn-Podillya OGR is marked by higher values of the hydrostatic coefficient.

Actually, the northern part of the Lviv Paleozoic deep in the structure of the Volyn-Podillya OGR is considered «the most promising area» in the oil and gas-bearing sense, based on total capacity of the porous sand collectors and favourable hydrogeological conditions for hydrocarbon accumulation. There are the Lokachi gas field, promising Semyryn and Ludyn structures within this part. Volodymyr-Volynsk, Tuminsk, Buzhkovitsk, Voynitsk, Vichyn and Knyazhe structures are predictable. «Medium-term prospect areas» are to the south and south-west. Velyki Mosty gas field, Tsebrovsk and Korchiv prospective areas, Krasnosilky, Raty and Boriv forecasts structures are located here [20].

Distribution of hydrostatic coefficients in the structure of the Lokachi gas field clearly indicates the connectivity of its overhydrostatic values with existing gas deposits (Fig. 5). In the wells with undiscovered gas deposits, the formation pressure in most

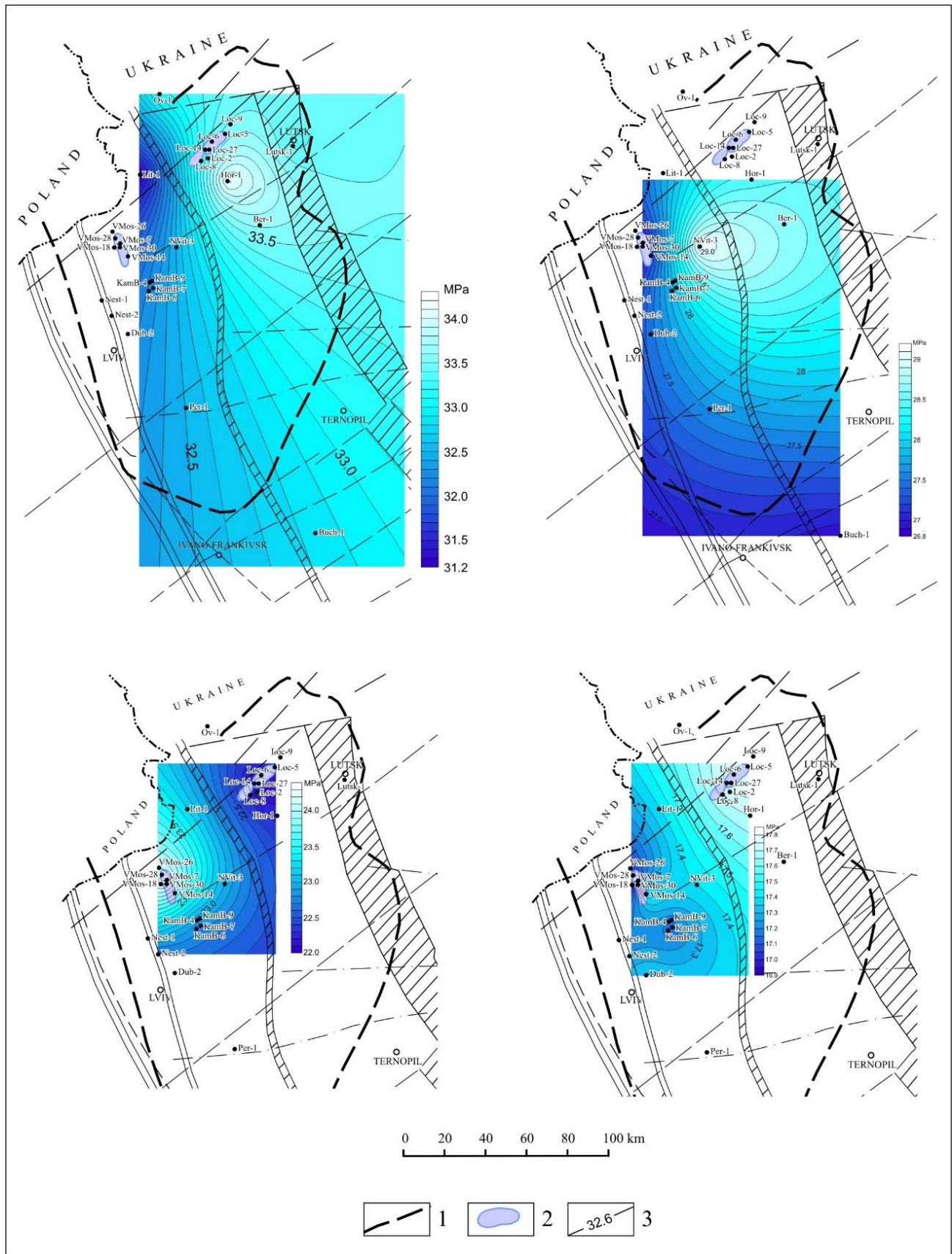


Fig. 2. The map-scheme of the transformed hydrostatic pressures: a – the Upper Proterozoic aquifer complex (-3000 m), b – the Cambrian aquifer complex (-2500 m), c – the Lower Devonian aquifer complex (-2000m), d – the Middle-Upper Devonian aquifer complex (-2000 m), (structural basis [16]); 1 - the boundary of the Lviv Paleozoic deep; 2 – the gas storage; 3 – the hydroisopiez and their values (MPa)

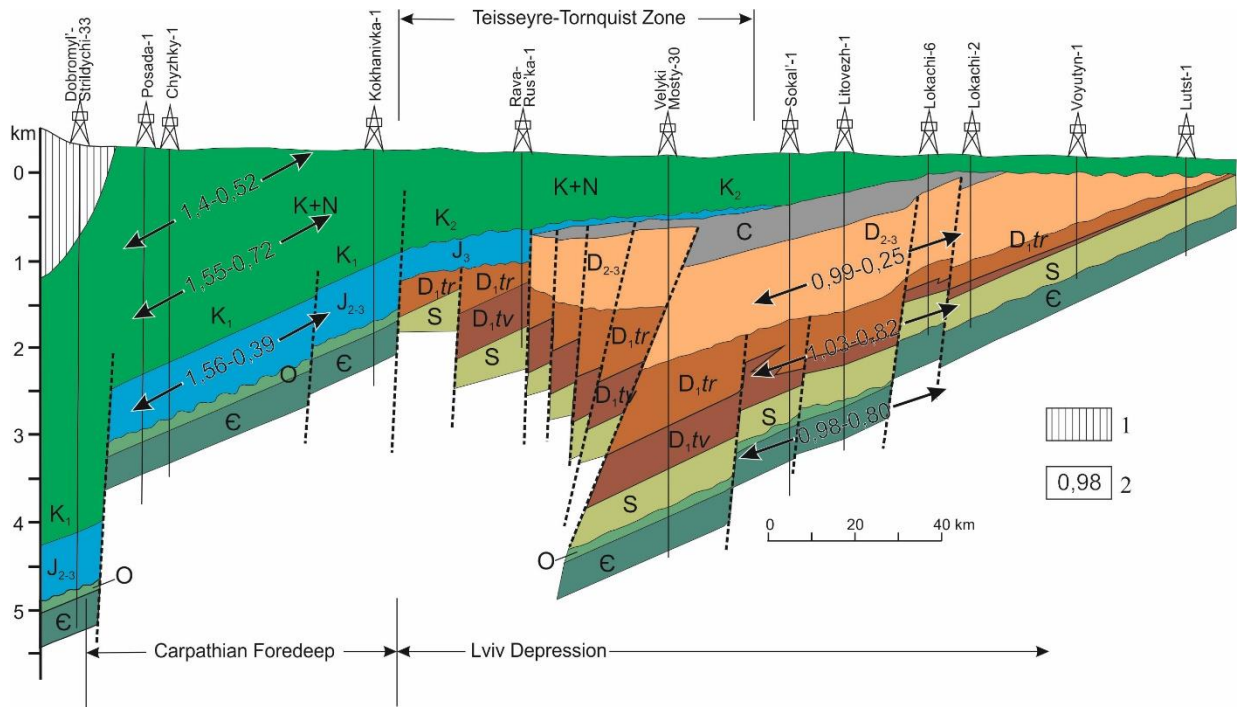


Fig. 3. Geological and hydrodynamic section of the Lviv Paleozoic and the Precarpathian deeps (geological basis [19]): 1 – the Folded Carpathians; 2 – the value of P_f/P_e

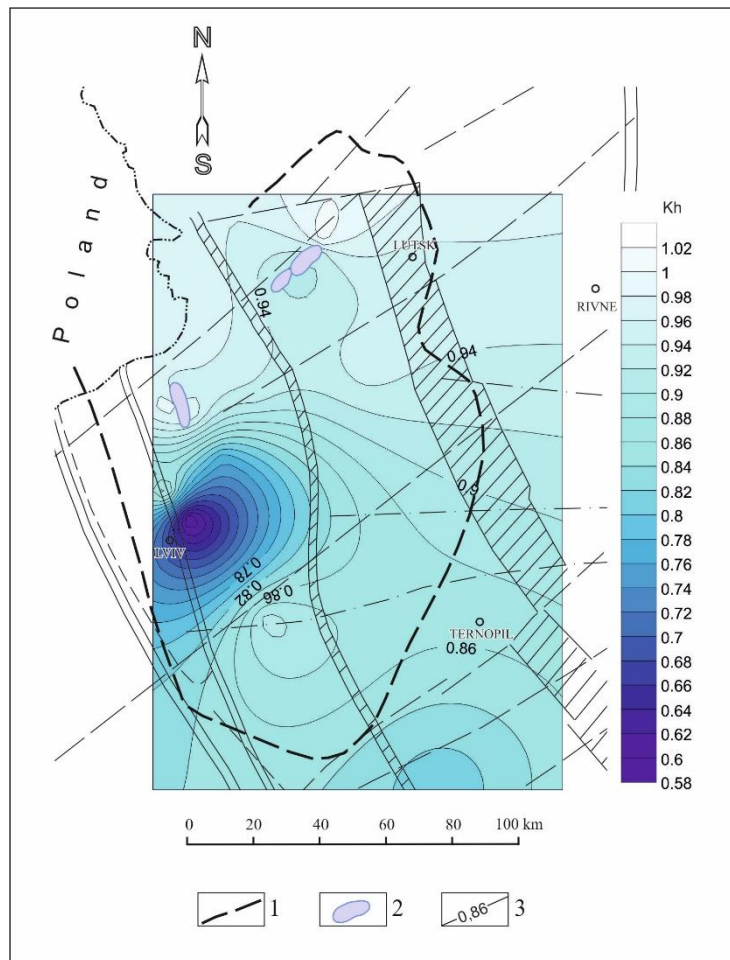


Fig. 4. Map-scheme of the distribution of the values of the hydrostatic coefficient of the Upper Proterozoic-Cambrian-Lower Devonian aquifers of the Volyn-Podillya OGR (structural basis [16]): 1 – the boundary of the Lviv Paleozoic deep; 2 – the gas field; 3 – isolines of the values of the hydrostatic coefficient

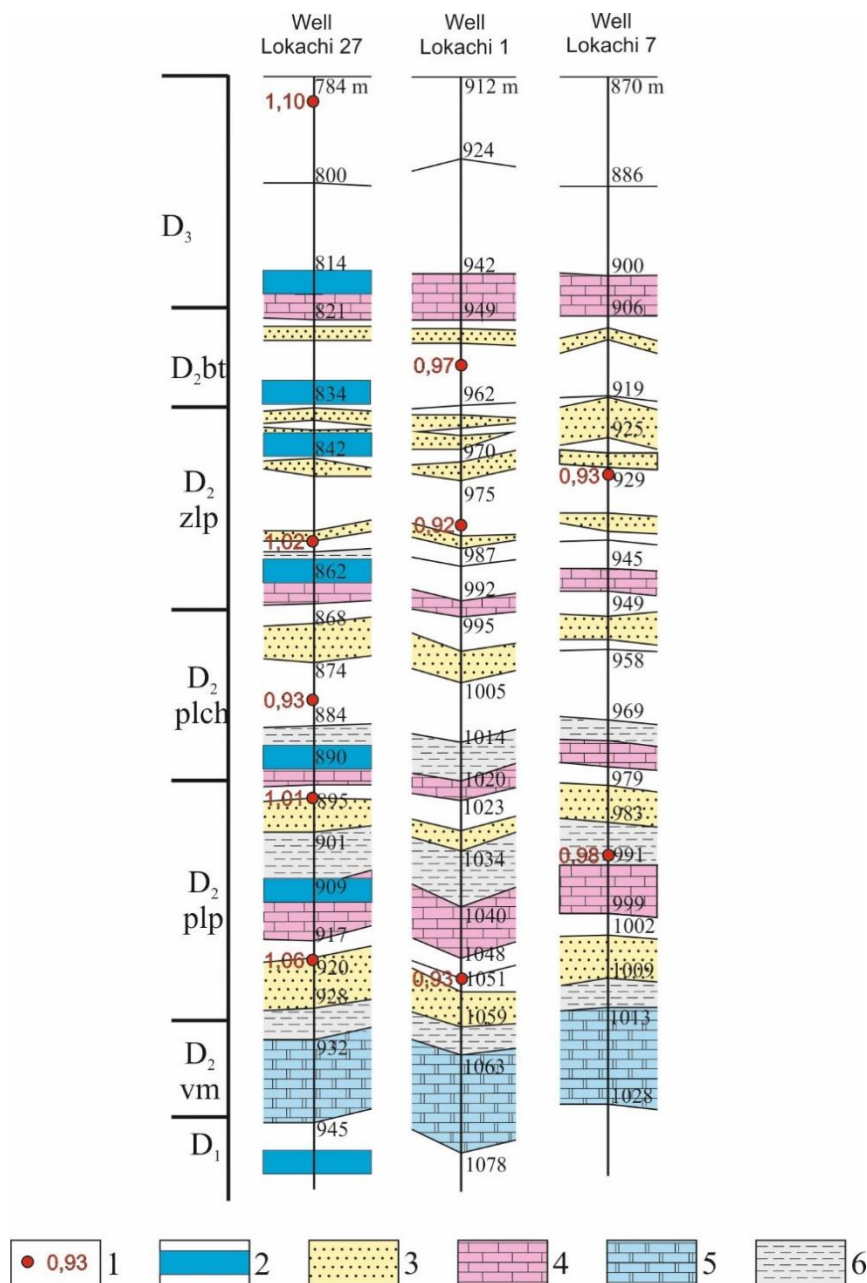


Fig. 5. Distribution of values of the hydrostatic coefficient in the section of the Lokachi gas field (geological basis [20]): 1 – depth of measurement and the value of Pf/Pe ; 2 – gas storage; 3 – sandstones, siltstones; 4 – limestone; 5 – dolomites; 6 – argillites

cases does not exceed the estimated pressure. Also overhydrostatic values of this coefficient most often occur in the horizons formed by sandy sediments.

Conclusions: 1. Features of the hydrodynamic fields of the Upper Proterozoic, Cambrian, and Lower-Devonian aquifers complexes of the Volyn-Podillya ORG is displayed in decrease in the values of hydrostatic pressures transformed to one plane of comparison, from its central to peripheral parts.

2. The terrigenous composition of rocks, the conditions of paleohydrogeological development and tectonic peculiarities caused the formation of the exfiltration water-pressure system in the strata of these complexes. The hydrodynamic tension here extends from the most abyssal parts of the sedimentary basin

to its peripheral parts. Formation pressures are caused by an increase in the volume of waters due to their squeezing out of clay sediments that have the ability to significant compression into weakly compression sandy rocks.

3. The hydrodynamic energy of the Middle-Upper Devonian aquifer complex is directed from the periphery to its central (the most submerged) part.

4. Peripheral parts of the Volyn-Podillya ORG in places of shallow placing of the Middle-Upper Devonian complex correspond to the characteristics of the infiltration water-pressure system, the hydrodynamic tension directed from the power supply areas to the areas of discharge. The dynamics of water in deep aquifers of this complex is significantly limited, or ev-

en completely absent.

5. The comparative analysis of hydrodynamic conditions on the basis of the hydrostatic coefficient makes it possible to state that the hydrodynamic field of the Volyn-Podillia ORG compared with the Bilche-Volytsya ORG is marked by a much lower power. The reason of this is the weak effect of exfiltration in the aquifers and the absence of sustained lithological and tectonic screens.

6. The values of the lateral hydrodynamic field of the Upper Proterozoic-Cambrian-Lower Devonian aquifer floor of the Volyn-Podillya ORG, investi-

gated on the basis of the hydrostatic coefficient, increase from the south to the north.

7. Gas deposits of Lokachy and Velyki Mosty fields are located in areas with higher values of the hydrostatic coefficient. Distribution of the hydrostatic coefficient in the section of Lokachi gas field indicates the connection of its overhydrostatic values with the existing gas deposits.

8. Presence of a reliable lithologic or tectonic screen in the Volyn-Podillia ORG provides a hydrodynamic isolation of the structure, as well as the conservation of deposits of hydrocarbons from mechanical and biochemical destruction.

References

1. Тхостов, Б. А. Начальные пластовые давления и геогидродинамические системы [Текст] / Б. А. Тхостов. – М. : Недра, 1966. – 268 с.
2. Алиев, А. К. О пластовых давлениях в недрах нефтяных месторождений [Текст]. – Баку: Азнефтеиздат – 1953. – № 11. – С. 143–148.
3. Колодій, В. В. Сверхгидростатические пластовые давления и нефтегазоносность [Текст] / В. В. Колодій // Сов. геология. – 1981. – № 6. – С. 21–30.
4. Дурмишьян, А. Г. О сингенетической и эпигенетической природе аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в недрах [Текст] / А. Г. Дурмишьян // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1973. – № 3. – С. 50–53.
5. Du, X. Hydrogeochemistry of formation water in relation to overpressures and fluid flow in the Qikou Depression of the Bohai bay basin [Text] / X. Du, X. Xie, Y. Lu, L. Zhang, Ch. Zhang // Available at: Journal of Geochemical Exploration. – 2010. – 106, 1–3, 77–83.
6. Yang, R. Origin of over-pressure in clastic rocks in Yuanba area, northeast Sichuan Basin, China [Text] / R. Yang, Sh. He, T. Li, X. Yang // Available at: Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – № 30. – P. 90–105.
7. Chilingar, G. Origin of abnormal formation pressures. Chapter 2. [Text] / G. Chilingar, J. Robertson, Jr. Riekelli // Available at: Developments in Petroleum Science. – 2002. – № 50. – 21–67.
8. Леворсен, А. И. Геология нефти [Текст] / А. И. Леворсен. – М.: Гостоптехиздат, 1953. – 268 с.
9. Шестопалов, В. М. О гидродинамической зональности и водообмене в гидрогеологических структурах [Текст] / В. М. Шестопалов // Геологический журнал. – 2014. – 4 (349). – С. 9–26.
10. Google Earth Pro / Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.
11. Атлас родовищ нафти і газу України [Текст]: у 6 т. / Під ред. М. М. Іванюти. – Львів : Центр Європи, 1998. – Т. 4: Західний нафтогазоносний регіон. – 328 с.
12. Венглинский, Г. И. Динамика и химизм подземных вод Волино-Подольской плиты в связи с нефтегазоносностью [Текст]: дис. ... канд. геол.-мин. наук / Г. И. Венглинский. – Львов : ИГГГК АН УССР, 1974. – 227 с.
13. Колодій, Володимир. Гідрогеологічні умови протерозойсько-палеозойських відкладів Волино-Подільської нафтогазоносної області [Текст] / Володимир Колодій, Степан Бала // Тези доповідей міжнародної наукової конференції “Геологія горючих копалин України”. – Львів. – 2001. – 113-115.
14. Медвідь, Галина. Геоохімічні особливості водоносних комплексів Великомоствівського газового родовища (Волино-Поділля) [Текст] / Галина Медвідь, Марія Кость, Ольга Телегуз, Роман Паньків, Олена Пальчикова, Оріся Майкут, Ірина Сахнюк // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2017. – № 3–4 (61). – 76–87.
15. Силин-Бекчурин, А. И. Метод приближенного расчета скоростей фильтрации и подземного стока рассолов по пьезометрам [Текст] / А. И. Силин-Бекчурин // Труды лаб. гидрогеол. проблем. – М. : Изд-во АН СССР. – 1949. – Т. 2 – С. 158–183.
16. Крупський, Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України [Текст] / Ю. З. Крупський. – К. : УкрДГРІ. – 2001. – 144 с.
17. Гарасимчук, В. Ю. Геотермобарні умовини осадової товщі південно-східної частини Передкарпатської нафтогазоносної області [Текст] / В. Ю. Гарасимчук, В. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 2. – С. 7–18.
18. Гарасимчук, В. Ю. Генеза висококонцентрованих солянок піднасувних відкладів південно-східної частини Зовнішньої зони Передкарпатського прогину [Текст] / В. Ю. Гарасимчук, В. В. Колодій, О. В. Кулинич // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2004. – № 4. – С. 105–118.
19. Дригант, Д. М. Девонські конодонти південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи (Волино-Поділля, Україна) [Текст] / Д. М. Дригант. – К. : Академперіодика, 2010. – 156 с.
20. Гоник, І. Перспективи пошуків вуглеводнів у девонських відкладах Волино-Поділля за результатами зонального прогнозу [Текст] / І. Гоник, Г. Гаврилко, О. Гоник // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2012. – № 1–2 (158–159). – С. 18–25.

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

UDC 553.98:551.49(447.8)

Vasyl Harasymchuk,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, 3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,
e-mail: v_harasymchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4377-2655>;

Halyna Medvid,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: halmedvid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>;

Olga Teleguz,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: olga_teleguz@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5761-7528>;

Mariia Kost',

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: m_kost_2007@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8741-9063>

HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VOLYN-PODILLYA OIL AND GAS-BEARING REGION

The purpose of the paper was to study hydrodynamic peculiarities of the aquifers of Volyn-Podillya oil and gas-bearing region and their impact on the formation and conservation of gas deposits.

The research area is located in the western Ukraine and covers the structures of the Eastern European and the Western European platforms. At present, Lokachi and Velyki Mosty gas fields are discovered here in the deposits of the Middle and Upper Devonian. Non-commercial volumes of gas and oil were received in some exploration wells.

Research methodology was based on the evaluation of water initial formation pressures and static levels that were obtained from the funds of the State Enterprise "Lvivgazvydobuvannia" and State Enterprise "Zakhidukrgeologia". The formation pressures were transformed to one plane of comparison. Also the hydrodynamic characteristics were studied in this work on the basis of the hydrostatic coefficient (P_f/P_e) in order to evaluate the impact of the factors that determine the nature and form the state of the hydrodynamic field. The maps of the formation pressures and hydrostatic coefficients were constructed and interpreted.

Results of researches. It was found out that the parameters of hydrodynamic fields of the Upper Proterozoic, Cambrian, and Lower-Devonian aquifers complexes of the Volyn-Podillya ORG have the features of an exfiltration system. The hydrodynamic tension extends from the most abyssal parts of the sedimentary basin to its peripheral parts. Formation pressures are caused by an increase in the volume of waters due to their squeezing out of clay sediments that have the ability to significant compression into weakly compression sandy rocks.

The hydrodynamic energy of the Middle-Upper Devonian aquifer complex is directed from the periphery to its central (the most submerged) part. The peripheral parts have the characteristics of the infiltration water-pressure system.

It was established that the hydrodynamic field of the Volyn-Podillya ORG compared with the Bilche-Volytsya ORG is marked by a much lower power due to weak effect of exfiltration in the aquifers and the absence of sustained lithological and tectonic screens.

The lateral hydrodynamic field, investigated on the basis of the hydrostatic coefficient, increases from the south to the north. A certain spatial relationship of the isolines of hydrostatic coefficient with diagonal disjunctive breaks is observed. This can determine them as a way of the water-hydrocarbon mixtures migration.

Gas deposits of Lokachy and Velyki Mosty fields are located in areas with higher values of the hydrostatic coefficient. Distribution of the hydrostatic coefficient in the section of Lokachi gas field indicates the connection of its overhydrostatic values with the existing gas deposits.

Hydrodynamic isolation of the structures promoted conservation of hydrocarbon deposits from mechanical and biochemical destruction.

Keywords: hydrodynamic conditions, oil and gas-bearing region, formation pressure, hydrostatic coefficient, gas deposit.

References

1. Tkhostov, B. (1966). *Nachal'nyye plastovyye davleniya i geogidrodinamicheskiye sistemy* [Initial reservoir pressure and geohydrodynamic systems]. Moscow, Nedra, 268.
2. Alijev, A. (1953). *O plastovyykh davleniyakh v nedrakh neftnyanykh mestorozhdeniy* [About reservoir pressures in the depths of oil fields]. Baku, Aznefteizdat, 177.
3. Kolodij V. (1981). *Sverhgidrostaticheskie plastovye davleniya i neftegazonosnost'* [Superhydrostatic reservoir pressure and oil and gas-bearing]. *Soviet geology*, 6, 21–30.
4. Durmish'jan A. (1973). *O singeneticheskoy i epigeneticheskoy prirode anomal'no visokih plastovih davlenij (AVPD) v nedrah* [About the syngenetic and epigenetic nature of abnormally high reservoir pressures in the interior]. *Oil and Gas Geology and Geophysics*, 3, 50–53.
5. Du, X., Xie, X., Lu, Y., Zhang L., Zhang Ch. (2010). *Hydrogeochemistry of formation water in relation to overpressures and fluid flow in the Qikou Depression of the Bohai bay basin*. *Journal of Geochemical Exploration*, 106, 1–3, 77–83.
6. Yang, R., He, Sh., Li, T., Yang, X., Hu, Q. (2016): *Origin of over-pressure in clastic rocks in Yuanba area, northeast Sichuan Basin, China*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 30, 90–105.
7. Chilingar, G., Robertson, J., Riekelli, Jr. (2002). *Origin of abnormal formation pressures*. Chapter 2. *Developments in Petroleum Science*, 50, 21–67.
8. Levorsen, A. I. (1956). *Geology of petroleum*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 300.
9. Shestopalov, V. M. (2014). *O hydrodynamicheskoy zonal'nosti y vodoobmene v hydrogeologicheskikh strukturakh* [Hydrodynamic zones and water exchange in the hydrogeological structures]. *Geological journal*, 4 (349), 9–26.
10. Google Earth Pro / Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.
11. Ivanyuta, M. M. ed. (1998). *Atlas rodovoy`shh nafty i gazu Ukrayiny u 6 t.* [Atlas of oil and gas fields of Ukraine in six volumes]. Vol. 4. Lviv: Ukrainian Oil and Gas Academy, 328.
12. Venglinskij G. I. (1974). *Dinamika i khimizm podzemnykh vod Volyno-Podol'skoy plity v svyazi s neftegazonosnostyu* [Dynamics and chemistry of underground waters of the Volyn-Podillya Plate in connection with oil and gas-bearing]. *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, of AS of Ukr.SSR*, 27.
13. Kolodij Volodymyr, Bala Stepan (2001). *Hidrogeologichni umovy proterozojs"ko-paleozojs"kyx vidkladiv Volyno-Podil"s"koji naftohazonosnoyi oblasti* [Hydrogeological conditions of the Proterozoic-Paleozoic deposits of Volyn-Podillya oil and gas area] // Abstracts of reports of international science Conference "Geology of Combustible Minerals of Ukraine". - Lviv, 113–115.
14. Halyna Medvid", Mariya Kost", Ol"ha Telehuz, Roman Pan"kiv, Olena Pal"chukova, Orysyia Majkut, Iryna Saxnyuk (2017). *Heoximichni osoblyvosti vodonosnyx kompleksiv Velykomostivs"kho hazovoho rodovyshha (Volyno-Podillya)* [Geochemical peculiarities of the aquifer complex of the Velyki Mosty gas field]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 3–4 (61), 76–86.
15. Silin-Bekchurin, A. (1949). *Metod priblizhennogo rascheta skorostey fil'tratsii i podzemnogo stoka rassolov po pyezometram*. [Method of approximate calculation of filtration rates and underground runoff of brines by piezometers]. *Proceedings of the Laboratory of Hydrogeological Problems, Moscow*, 2, 158–183.
16. Krups"kyj, Yu. (2001). *Heodynamichni umovy formuvannya i naftohazonosnosti Karpats"kho ta Volyno-Podil"s"kho rehioniv Ukrayiny* [Geodynamic conditions of formation and oil and gas-bearing of the Carpathian and Volyn-Podillya regions of Ukraine]. *UkrDGRI, Kyiv*, 144.
17. Harasymchuk, V. & Kolodij, V. (2003). *Heotermal"ni umovyny osadovoyi tovshhi pivdenno-sxidnoyi chastyny Peredkarpats"koji naftohazonosnoyi oblasti (Geotermobar conditions of the sedimentary layer of the south-eastern part of the Carpathian oil and gas-bearing area)*. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 2, 7–18.
18. Harasymchuk, V., Kolodij, V., Kulynych O. (2004). *Henezha vysokokoncentrovanyx solyanok pid nasuvnyx vidkladiv pivdenno-sxidnoyi chastyny Zovnishn"oyi zony Peredkarpats"kho prohtnu* [Genesis of high-concentrated brines of the South-Eastern part of the Outer Zone of the Carpathian deep]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 4, 105–119.
19. Dryhant D. (2010). *Devons"ki konodonty pivdenno-zaxidnoyi okrayiny Sxidnoyevropejs"koji platformy (Volyno-Podillya, Ukrayina)* [Devonian conodonts of the south-western edge of the Eastern European Platform (Volyn-Podillya, Ukraine)]. *Kyiv, Akademperiodyka*, 156.
20. Honyk, I., Havrylko, H., Honyk, O. (2012). *Perspektyvy poshukiv vuhlevodniv v devons"kyx vidkladax Volyno-Podillya za rezul"tatamy zonal'noho prohnozu* [Prospects for finding hydrocarbons in the Devonian sediments of Volyn Podillya on the basis of the zonal forecast]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1–2, 18–26.

УДК (56:551.76):563.1(477.75)

Юлія Богданівна Доротяк,

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

вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01601, Україна,

e-mail: dorotyak78@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0498-1892>

БІОСТРАТИГРАФІЧНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ ВЕРХНЬОЮРСЬКИХ ТА НИЖНЬОКРЕЙДОВИХ (ОКСФОРД - НИЖНІЙ БЕРІАС) ВІДКЛАДІВ ГІРСЬКОГО КРИМУ ЗА ФОРАМІНІФЕРАМИ

За результатами форамініферового аналізу проведено детальне біостратиграфічне розчленування верхньої юри та нижньої крейди (оксфорд-нижній беріас) Гірського Криму. В розрізах виділено п'ять форамініферових комплексів, які характеризують верхньоюрський (нижньо- верхньооксфордський, нижньокімериджський, верхньотитонський) та нижньокрейдовий (нижньоберіасський) вік порід. Аналіз форамініферових комплексів дозволив в кожному розрізі виявити біостратиграфічні підрозділи - зони: в нижньому оксфорді - *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana*; у верхньому оксфорді - *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi*; у верхньому титоні - *Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis*, у нижньому беріасі (нижню зону) *Protopenoplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua* та верстви у нижньому кімериджі - з *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva*. Виявлені форамініферові зони прослідковуються нами в різних структурно-фаціальних зонах (зона *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana* - в Судацько-Феодосійській; зона - *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi* - в Ай-Петрі-Бабуганській та Судацько-Феодосійській; верстви з *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva* - в Судацько-Феодосійській; зона *Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis* - в Сухоріченсько-Байдарській, Демерджи-Карабійській та Судацько-Феодосійській; зона *Protopenoplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua* - в Демерджи-Карабійській та Судацько-Феодосійській). Для кожної форамініферової зони наведена характеристика, яка включає комплекс характерних видів, види, які зникають, з'являються та види, які продовжують своє існування, а також окремі особливості. За літологічними особливостями та палеонтологічною характеристикою у відкладах досліджуваних розрізів виявлені світи та підсвіти. В результаті дослідження уточнені біостратиграфічні характеристики розрізів та доповнено палеонтологічну характеристику верхньоюрських та нижньокрейдових відкладів Гірського Криму.

Ключові слова: оксфорд, кімеридж, титон, беріас, форамініферовий комплекс, форамініферова зона, структурно-фаціальна зона, Гірський Крим.

Ю. Б. Доротяк. БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ВЕРХНЕЮРСКИХ И НИЖНЕМЕЛОВЫХ (ОКСФОРД - НИЖНИЙ БЕРИАС) ОТЛОЖЕНИЙ ГОРНОГО КРЫМА ЗА ФОРАМИНИФЕРАМИ. По результатам фораминиферового аналізу проведено детальне біостратиграфічне расчленение верхней юри и нижнего мела (оксфорд-нижний берриас) Горного Крыма. В разрезах установлено пять фораминиферовых комплексов, которые характеризуют верхнеюрский (нижне- верхнеоксфордский, нижнекимериджский, верхнетитонский) и нижнемеловой (нижнеберриасский) возраст пород. Анализ фораминиферовых комплексов позволил в каждом разрезе выявить биостратиграфические подразделения - зоны: в нижнем оксфорде - *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana*; в верхнем оксфорде - *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi*; в верхнем титоне - *Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis*, в нижнем берриасе (нижнюю зону) *Protopenoplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua* и слои в нижнем кімеридже - с *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva*. Виявлені фораминиферові зони прослідковуються нами в різних структурно-фаціальних зонах (зона *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana* - в Судацько-Феодосійській; зона - *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi* - в Ай-Петри-Бабуганської та Судацько-Феодосійській; слои с *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva* - в Судацько-Феодосійській; зона *Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis* - в Сухореченсько-Байдарської, Демерджи-Карабійської та Судацько-Феодосійській; зона *Protopenoplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua* - в Демерджи-Карабійської та Судацько-Феодосійській). Для каждой фораминиферовой зоны приведена характеристика, которая включает комплекс характерных видов, исчезающие виды, появляющиеся, и виды, продолжающие свое существование, а также отдельные особенности. По литологическим особенностям и палеонтологической характеристике в отложениях изучаемых разрезов выявлены свиты и подсвиты. В результате исследования уточнена биостратиграфическая характеристика разрезов и дополнена палеонтологическая характеристика верхнеюрских и нижнемеловых отложений Горного Крыма.

Ключевые слова: оксфорд, кімеридж, титон, берриас, фораминиферовий комплекс, фораминиферова зона, структурно-фаціальна зона, Горний Крим.

Вступ. Відклади верхньої юри і крейди в Гірському Криму поширені досить широко і представлені - оксфордським, кімериджським, титонським і беріасським ярусами. Ступінь вивченості цих відкладів неоднакова. Найбільш детально вивчені відклади оксфордського, титонського та беріасського ярусів. За основу біостратиграфічного поділу верхньоюрських та нижньокрейдових відкладів Гірського Криму нами взята «Стратиграфічна схема верхньоюрських та нижньокрейдових відкладів Гірського Криму» 2013 р. [20].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія вивчення верхньоюрських та нижньокрейд-

дових відкладів Гірського Криму висвітлюється в численних роботах, та особливо детально в узагальнюючих працях, а саме «Стратиграфія УРСР. Том 7. Юра» [27], «Геологія СРСР. Т. 8. Крим» [6], «Стратиграфія та форамініфери верхньої юри та нижньої крейди Криму» [15], «Нижня крейда заходу і півдня України» [16], «Юрські відклади півдня України» [17], «Беріас Гірського Криму» [5], «Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України» [20] та в статтях і тезах [1,3,14].

В 1969 р Є.А. Успенською розроблена стратиграфічна схема верхньоюрських відкладів Криму за амонітами [27]. В 1970 р. Є.А. Успен-

ською і В.В. Пермяковим удосконалюється стратиграфічна схема (наведено районування Гірського Криму зональний поділ, літологічна і фауністична характеристика, виділені світи - ескі-ордінська, бітацька, уточнено положення перерв) [28]. В 1984 р. В.В. Пермяковим і М.В. Ваніною публікується стратиграфічна схема юрських відкладів Гірського Криму (затверджена УРМСК в 1982 р.), яка складається з загальної, регіональної шкали і кореляції місцевих стратиграфічних підрозділів [17]. В 1991 р. В.В. Пермяков, М.М. Пермякова, Б.П. Чайковський публікують уточнену схему стратиграфії юрських відкладів Гірського Криму з пояснювальною запискою (наведений ярусний, зональний поділ, 31 світа і 8 горизонтів) [25]. В 1993 р. складена В.В. Пермяковим, М.М. Пермяковою, Б.П. Чайковським уточнена стратиграфічна схема юрських відкладів Гірського Криму (структурно-фаціальне районування, доповнилась зональна шкала, встановлені і виділені горизонти, які є основними одиницями регіональних стратиграфічних підрозділів) [26].

Вивчення беріаських відкладів Гірського Криму пов'язують з вивченням фауни з «пачки феодосійських мергелів» характерного маркуючого горизонту розрізу беріаса Східного Криму. В 1974 р. І.Г. Сазоновою і Н.Т. Сазоновим пропонується перша схема зонального розчленування примезових відкладів титону і беріасу за амонітами [5; 29]. У 1984 р. В.В. Пермяковим [17] за комплексом форамініфер, коралів, брахіопод, двостулкових, брюхоногих та головоногих молюсків виділено двоякірну світу із стратотипу в Двоакірній долині, але сам стратотип не був описаний. Починаючи з 1984 р. і до сьогодні проводяться детальні дослідження примезових відкладів юри та крейди в розрізах Гірського Криму, а саме літологічні, магнітостратиграфічні [2], макрофауністичні (амоніти, двостулкові молюски, брахіоподи, белемніти, корали, криноїдеї, аптихи) [2-5], мікрофауністичні (форамініфери, остракоди) [4; 7, 9, 10, 12; 13, 14], палінологічні (спори та пилок, диноцисти) [10] та дослідження нанопланктону [18-23].

На сьогодні стратиграфічні схеми верхньоюрських та нижньокрейдових відкладів Гірського Криму удосконалені, зкорельовані з МСШ 2016 р., відповідно змінено назву деяких амонітових зон, уточнено вік та обсяг окремих світів, розширена палеонтологічна характеристика, проведена кореляція з суміжними регіонами. У схему введена шкала за форамініферами, яка розроблена по верхній юрі К.І. Кузнецовою, а по нижній крейді Т.М. Горбачик. Макрофауна (амоніти, двостулкові молюски, гастроподи і корали) за даними В.В. Пермякова, Р.Й. Лещуха, В.В. Аркадьєва, Є.Ю. Барабошкіна [30].

У зв'язку із складною геологічною будовою досліджуваної території та тектонічним районуванням до цього часу залишається багато невирішених питань, в тому числі і остаточно не встановлена межа примезових відкладів титону та беріасу. Базою для остаточних висновків може слугувати детальний біостратиграфічний аналіз відкладів межі юри та крейди Гірського Криму.

Формування мети статті. Метою статті є стратиграфічне розчленування і кореляція верхньоюрських та нижньоберіаських відкладів Гірського Криму на підставі вивчення форамініфер, та використання отриманих результатів для біостратиграфічних розчленувань.

Виклад основного матеріалу. Відклади оксфордського ярусу поширені на території Гірського Криму досить широко і тісно пов'язані з підстиляючими верхньокеловейськими породами. За амонітами для нижнього оксфорду Криму виділено зону *Cardioceras cordatum*, якій відповідає форамініферова зона *Lenticulina quenstedti* - *Globuligerina oxfordiana* [30].

Відклади верхнього оксфорду пов'язані поступовим переходом, як з підстиляючими нижньооксфордськими, так і перекриваючими нижньокімериджськими відкладами. В межах Гірського Криму верхній оксфорд підрозділяється на дві амонітові зони: *Gregoryceras transversarium* і *Eripeltoceras bimammatum*. За форамініферами виділено зону *Lenticulina russiensis*-*Epistomina uhligi*, яка простежується впродовж всього пізнього оксфорду [30].

Кімериджські відклади поширені на території Гірського Криму і утворюють єдиний комплекс порід з оксфордськими відкладами. Виділений лише нижній під'ярус, в якому за амонітами виділена лона *Streblites tenuilobatus*, а за форамініферами встановлені верстви з *Epistomina praetatarensis* - *Globuligerina parva* [30]. Відклади верхнього кімериджу впевнено не встановлені, це пояснюється розмивом або переривом в осадконакопиченні. Але, в останні роки отримані деякі докази присутності верхнього кімериджу в розрізах Ялтинського амфітеатру [1; 14], та у південно-східному Криму [3], проте стратиграфія верхнього кімериджу на теперішній час недостатньо обґрунтована і в стратиграфічній схемі 2013 року не виділяється.

Титонські відклади широко поширені на території Гірського Криму та залягають без чітко вираженого кутового неузгодження на кімериджських відкладах і, можливо, раннього титону, припадає перерва в осадконакопиченні. Стратиграфічно відклади нижнього титону розділені на дві амонітові лони: *Kossmatia richteri*, яка співпадає з верствами з *Epistomina ventriosa* - *Texstularia densa*, і лона *Semiformiceras semiforme* -

відповідає зоні *Astaculus laudatus* - *Epistomina omninoreticulata* [30]. У верхньому титонському під'ярусі за форамініферами виділено зону *Anchispirocyclina lusitanica* - *Melathrokerion spirialis*, яка співпадає з амонітовою лоною *Paraulacosphinctes transitorius* [30].

В нижньому беріасі за амонітами виділяють зону *Berriassella jacobii* в межах, якої встановлено за планктонними форамініферами шари з *Globuligerina gulekhensis*, в нижній частині яких виділені зони за бентосними форамініферами: нижня зона *Protopeneroplis ultragranulatus* - *Siphoninella antiqua* і верхня зона *Quadratina tunassica* - *Siphoninella antiqua*. Сукупність цих зон відповідає об'єму амонітової зони *Berriassella jacobii* [5; 30].

ОКСФОРДСЬКИЙ ЯРУС. Нижній оксфордський під'ярус. Зона *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana*. Нижньооксфордські відклади досліджувалися в Судацько-Феодосійській структурно-фаціальній зоні (далі скорочення СФЗ) в розрізах відслонень поблизу с. Богатівка на півострові Меганом, Янишарській бухті та в св. № 2 на г. Карадаг (рис. 1, 2) [11]. Відклади представлені зеленувато-сірими темно-сірими алевритистими, піскуватими глинами. Угрупування форамініфер виділені з глинистих фацій. Дані угруповання представлені бентосними (93%) і планктонними (7%) формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (60%) переважають над аглютинуючими (33%), але за кількістю екземплярів їх співвідношення зворотне, в деяких розрізах, а саме св. 2 на г. Карадаг, відслонення поблизу с. Богатівка. Одним з важливих компонентів даного фауністичного угруповання є присутність у відкладах нижнього оксфорду планктонних форм. *Globuligerina oxfordiana* (Grig.) – це вид вузького стратиграфічного і широкого географічного поширення. Він зустрічається у розрізах нижнього оксфорду в обмеженій кількості (10-30 екз, на 200 г сухої породи). Угрупування малочисельні, рідше багаточисельні. Характерними видами для даної зони є *Lenticulina attenuata* (Kub. et Zw.), *Epistomina nemunensis* Grig., *Spirillina kübleri* Mjatl *Globuligerina oxfordiana* (Grig.). Виявлені скупчення *Ammodiscus* cf. *uglicus ehremeevae* Dain, *Psammatodendron* cf. *dichotomicum* Neagu, *Epistomina nemunensis* Grig., *Ophthalmidium dilatatum* Paalz., *O. tenuisimum*, *O. cf. stuifense* (Paalz.), *Sigmoilina milioliniformis* (Paalz.). Відклади зони *Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana* простежені у верхній частині судацької світи.

Верхній оксфордський під'ярус. Зона *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi*. Верхньооксфордські відклади досліджувалися в Ай-Петрі-

Бабуганській СФЗ - відслонення 49 км дороги Ялта-Севастополь та в Судацько-Феодосійській СФЗ, а саме у розрізах відслонень поблизу с. Богатівка на півострові Меганом, св. № 3 на г. Карадаг (рис. 1, 2) [8; 11].

В Ай-Петрі-Бабуганській СФЗ відклади верхнього оксфорду представлені мергелем сірим глинистим щільним нешаруватим. Форамініферові угруповання багаточисельні, представлені бентосними формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (68%) переважають над аглютинуючими (32%). Характерними видами для даної зони є *Textularia jurassica* Gumbel., *Epistomina stelligeraformis* Mjatl. Виявлені скупчення *Marsonella doneziana* Dain, *Lagena apiculata* (Reuss), *Epistomina limbata* Kart., *E. stelligeraformis* Mjatl. В угрупованнях присутні бореальні форми - *Lenticulina polovinkaensis* Put., *L. sibirica* (Kosyr.), *L. nordformis* Put. et Rom. та продовжують своє існування поодинокі нижньооксфордські види *Epistomina nemunensis* Grig., *Saracenaria cornucopiae* (Schwager). Відклади зони *Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi* простежені у нижній частині манджильської світи.

В Судацько-Феодосійській СФЗ верхньооксфордські відклади представлені сланцевими глинами, глинистими алевролітами та мергелями зеленувато-сірими піщанистими, з яких виділені форамініферові угруповання. Угрупування малочисельні, представлені бентосними формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (98%) переважають над аглютинуючими (2%). Характерними видами є *Epistomina volgensis* Mjatl., *E. uhligi* Mjatl. Виявлені скупчення *Epistomina limbata* Kart. В верхньооксфордських угрупованнях продовжують існувати поодинокі верхньокеловейські *Lenticulina tumida* (Mjatl.), *L. parmula* Gof., *Epistomina mosquensis* Uhlig. та нижньооксфордські *Epistomina nemunensis* Grig., *Saracenaria cornucopiae* (Schwager). Відклади зони *Lenticulina russiensis - Epistomina uhligi* простежені у нижній частині манджильської світи.

КІМЕРИДЖСЬКИЙ ЯРУС. Нижній кімериджський під'ярус. Верстви *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva*. Відклади нижнього кімериджу досліджувалися в Судацько-Феодосійській СФЗ в розрізі відслонення поблизу с. Богатівка на півострові Меганом (Рис. 1, 2) [11]. Відклади представлені товщею глин з сидеритами, з яких виділені форамініферові угруповання. Дані угруповання малочисельні, представлені бентосними формами, серед яких аглютинуючі форми представлені більшістю екземплярів (74%) в порівнянні з секретійними (26%). Характерними видами є *Lenticulina simplex* (Kubl. et

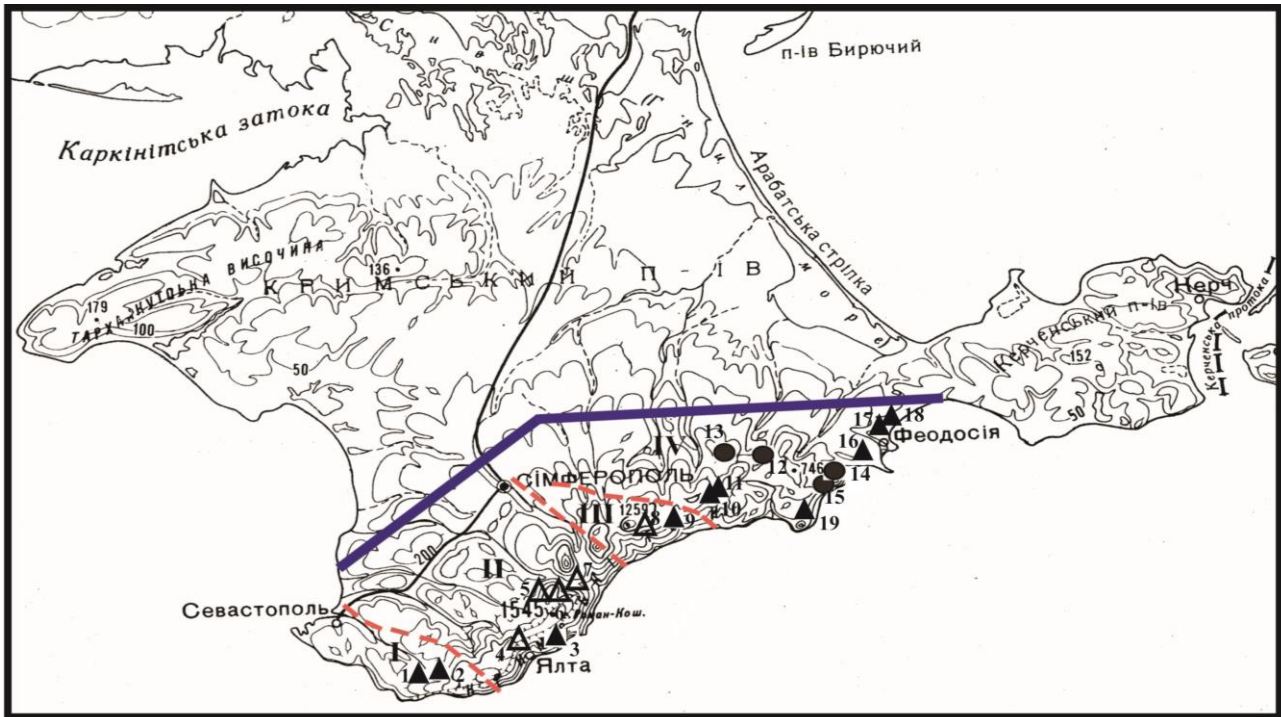


Рис. 1. Карта-схема фактичного матеріалу.

Умовні позначення:

Структурно-фаціальні зони: I – Сухоріченсько-Байдарська, II – Ай-Петрі-Бабуганська, III – Демерджи-Карабійська, IV – Судацько-Феодосійська.

Розрізи: 1. с. Тилове, 2. с. Орлине, 3. 49 км дороги Ялта-Севастополь, 4. Богата Ущелина, 5. Ай-Петринська Яйла, 6. м. Юграф, 7. г. Ай-Петрі, 8. Урочище Панагії, 9. г. Карабі-Яйла, 10. с. Красноселівка (р. Тонасу), 11. с. Красноселівка (с. Кучук-Узень), 12. хр. Суук-Су (св. 47), 13. смт Богатое (св. 54), 14. г. Карадаг (св. 2), 15. г. Карадаг (св. 3), 16. Янишарська бухта, 17. м. Св. Іллі, 18. Двоякірна бухта, 19. с. Богатівка (п-в Меганом).

▲ – відслонення з фауною; △ – відслонення пусті; ● – свердловини

Zw.), *Spirillina kübleri* Mjatl. Разом з тим виявлені скупчення *Rhizammina indivisa* Brady, *Psammatodendron cf. dichotomicum* Neagu. Відклади верств з *Epistomina praetariensis*-*Globuligerina parva* простежені у верхній частині манджильської світи.

ТИТОНСЬКИЙ ЯРУС. Верхній титонський під'ярус. Зона *Anchispirocyclina lusitanica*-*Melathrokerion spirialis*. У вивчених автором розрізах мікропалеонтологічно охарактеризовані тільки верхньотитонські відклади. Дані відклади досліджувалися в Сухоріченсько-Байдарській СФЗ (відслонення с. Орлине, с. Тилове), в Демерджи-Карабійській СФЗ (відслонення на околицях с. Боксан північний схил г. Карабі-Яйла) і в Судацько-Феодосійській СФЗ (відслонення с. Красноселівка, Двоякірна бухта та свердловина № 54 район смт Богатое) (Рис. 1, 2) [7; 9; 10; 12].

В Сухоріченсько-Байдарській СФЗ відклади представлені перешаруванням алевритистих вапняків, сидеритів і глин. Форамініферові угруповання виділені з глин. Угруповання малочисельні, представлені бентосними формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (98%)

переважають над аглютинуючими (2%). Характерними видами є *Texstularia densa* Gofman, *Ophthalmidium sigmoiliniformis* (Ant.), *Lenticulina nodosa* (Reuss), *L. uspenskajae* K. Kuz., *L. immensa* K. Kuz., *Astacolus laudatus* Gofman, *Epistomina ventriosa* Esp. et Sigal, *Pseudonodosaria tutkovskii* (Mjatl.), *Globospirillina caucasica* Gof., *Trocholina alpina* (Leupold), *T. solecensis* Biel. et Poz., *Ramulina spinata* Ant., *Discorbis agalarovae* Ant. *D. crimicus* Schkhina. Виявлені скупчення *Epistomina ventriosa* Esp. et Sigal, *Globospirillina caucasica* Gof., *Spirillina kübleri* Mjatl. В угрупованнях ще продовжують існування деякі кімериджські види *Lenticulina cf. essica* Putrja, *L. cf. acutata* Putrja, *L. cf. pertiosa* Putrja, а також з'являються поодинокі нижньоберіаські, а саме *Ammobaculites cf. incostans gracielis* (Brat. et Brand), *Stomatostoecha cf. enisalensis* Gorb., *Dentalina cf. nana* Reuss, *Siphoninella antique* Gorb., *Trocholina cf. burlini* Gorb. Відклади зони *Anchispirocyclina lusitanica*-*Melathrokerion spirialis* простежені у верхній частині деймен-деринської світи.

В Демерджи-Карабійській СФЗ відклади представлені перешаруванням глинистих і піскуватих вапняків, карбонатних глин. Форамініферові угруповання виділені з глин. Угруповання малочисельні, представлені бентосними формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (92%) переважають над аглютинуючими (8%). Характерними видами є *Stomatostoecha compressa* Gorb., *Textularia densa* Gof., *Melathrokerion spirialis* Gorb., *Belorussiella taurica* Gorb., *Lenticulina vistulae* Biel. Et Poz., *L. immensa* K. Kuz., *Epistomina ventriosa* Esp. et Sigal, *Globospirillina caucasica* Gof., *Trocholina alpina* (Leup.). В угрупованнях з'являються поодинокі нижньоберіаські види: *Lenticulina* cf. *neocomiana* (Rom.), *Trocholina molesta* Gorb. Разом з тим виявлені скупчення *Epistomina ventriosa* Esp. et Sigal, *Trocholina*

molesta Gorb. Відклади зони *Anchispirocyclina lusitanica*-*Melathrokerion spirialis* простежені у нижній частині беденекирської світи.

В Судацько-Феодосійській СФЗ відклади представлені вапняками глинистими, сірими, пелітоморфними, які поступово заміщуються вапняками оолітовими, глинами алевритистими вапнистими, строкатими, дуже міцними, темно-сірими, зеленувато-сірими глинами з частими прошарками світло-сірих і рожевих вапняків, глинами алевролітовими темно-зеленувато-сірими плитчастими з прошарками вапняків брунатно-сірих міцних детритових. Форамініферові угруповання виділені з глинистих фацій. Угруповання багаточисельні, рідше малочисельні, представлені бентосними (99%) і планктонними (1%) формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (84%) переважають над аглютинуючими

| МЛН. РОКІВ | ПОЛЯРНІСТЬ | ХРОН | МСШ | | | | МЕЖНАРОДНІ БІОЗОНАЛЬНІ СТАНДАРТНІ ШКАЛИ | РЕГІОНАЛЬНІ СТРАТИГРАФІЧНІ ПІДРОЗДІЛИ | | ЗАХІДНИЙ РАЙОН | |
|------------|------------|------|-----------------|------------|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | СИСТЕМА | ВІДДІЛ | ЯРУС | ПІДЯРУС | | БІОЗОНАЛЬНІ ШКАЛИ | | СУХОРІЧЕНСЬКО-БАЙДАРСЬКА | |
| | | | | | | | | АМОНІТИ (зони) за В.В. Пермяковим, В.В. Аркадьєвим, С.С. Барабошкіним та ін. | ФОРАМІНІФЕРИ (зони, верстви) за К.І. Кузнецовою, Т.Н. Горбачик, Л.Ф. Плотніковою | Форамініферова зона | Комплекс характерних видів |
| | | | | | | БЕНТОСНІ ТА ПЛАНКТОННІ ФОРАМІНІФЕРИ (Ogg et al., 2008) | | | | | |
| | | | | | | Дрібні | Крупні | | | | |
| 145 | | M17 | КРЕЙДОВА НИЖНІЙ | Беріаський | Нижній | 140.2±3.0 | Conoglobigerina gulekhensis | Berriassella jacobii | Верстви з Globuligerina gulekhensis | Quadratina tunassica-Siphoninella antiqua Protopenneroplus ultragramulatus-Siphoninella antiqua | Не досліджувались |
| | | M18 | | | | | | | | | |
| | | M19 | | | | | | | | | |
| | | M20 | | | | 145.5±4.0 | Anchispirocyclina lusitanica+ Protopenneroplus trochangulata | Paraulacosphinctes transitorius | Anchispirocyclina lusitanica-Melathrokerion spirialis | Anchispirocyclina lusitanica-Melathrokerion spirialis | Textularia densa, Ophthalmidium sigmoiliformis, Lenticulina nodosa, L. uspenskaja, Astacolus laudatus, Epistomina ventriosa, Discorbis agalarovae, D. crimicus, Globospirillina caucasica, Trocholina alpina, T. solecensis. |
| | | M21 | Титонський | Верхній | | | Trochammina rosacea, Naplophragmoides canuiformis | Semiformiceras semiforme | Astacolus laudatus-Epistomina omnino-reticulata | | Не досліджувались |
| 150 | | M22 | | Нижній | | | | Kossmatia richteri | Верстви з Epistomina ventriosa-Textularia densa | | Не досліджувались |
| | | M23 | ЮРСЬКИЙ | Верхній | | 150.8±4.0 | Alveosepta powersi+ Kilianina rahonensis | Не встановлено | | Верстви з Epistomina praetatarensis-Globuligerina parva | Не досліджувались |
| | | M24 | | | | | | Streblites tenuilobatus | | | Не досліджувались |
| | | M24A | | | | | | | | | |
| | | M24B | | | | | | | | | |
| | | M25 | Кімеридзький | Нижній | | | Lenticulina oxfordiana mg S. | Idoceras planula | | Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi | Не досліджувались |
| | | M26 | | | | | Nodosaria plicatilis | Epipeltoceras bimammatum | | | |
| | | M27 | | | | 155.6 | (un-named) | Gregoryceras transversarium | | | |
| | | M28 | Оксфордський | Верхній | | | | Perisphinctes plicatilis | | | |
| | | M29 | | | | | | Cardioceras cordatum | | Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana | Не досліджувались |
| | | M30 | | | | | | Quenstedtoceras mariae | | | |
| | | M31 | Оксфордський | Середній | | | | | | | |
| | | M32 | | | | | | | | | |
| | | M33 | | | | | | | | | |
| 160 | | M34 | Нижній | Верхній | | 161.2±4.0 | Fronicularia molleri | | | | |
| | | M35 | | | | | | | | | |
| | | M36 | | | | | | | | | |

Рис. 2.1. Біостратиграфічна схема верхньоюрських-нижньокрейдових відкладів (оксфорд-нижній беріас) Гірського Криму

| МІСЦЕВІ СТРАТИГРАФІЧНІ ПІДРОЗДЛИ | | | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ЗАХІДНИЙ РАЙОН | | СХІДНИЙ РАЙОН | | |
| СТРУКТУРНО-ФАЦІАЛЬНІ ЗОНИ | | | | |
| АЙ-ПЕТРИ-БАБУГАНСЬКА | | ДЕМЕРДЖІ-КАРАБІЙСЬКА | | СУДАЦЬКО-ФЕОДОСІЙСЬКА |
| Форамініферова зона | Комплекс характерних видів | Форамініферова зона | Комплекс характерних видів | Форамініферова зона |
| Не досліджувались | | Не досліджувались | | |
| | Protopenneroplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua | <i>Triplasia emslandensis acuta</i> , <i>Lenticulina macra</i> , <i>Discorbis crimicus</i> , <i>Trocholina alpina</i> , <i>T. molesta</i> , <i>T. burlini</i> . | Protopenneroplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua | <i>Stomatostoecha emsalensis</i> , <i>Melathrokerion spirialis</i> , <i>Belorussiella taurica</i> , <i>Verneuilina angularis</i> , <i>V. subminuta</i> , <i>Lenticulina ambanjabensis</i> , <i>Discorbis crimicus</i> , <i>D. praelongus</i> , <i>D. infracretaceous</i> , <i>Pseudolamarckia reussi</i> , <i>Globospirillina neocomiana</i> , <i>Siphoninella antiqua</i> , <i>Protopenneroplis ultragranulatus</i> , <i>Trocholina alpina</i> , <i>T. molesta</i> , <i>T. burlini</i> , <i>T. elongata</i> . |
| | Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis | <i>Textularia densa</i> , <i>Stomatostoecha compressa</i> , <i>Melathrokerion spirialis</i> , <i>Belorussiella taurica</i> , <i>Lenticulina vistulae</i> , <i>L. immensa</i> , <i>Epistomina ventriosa</i> , <i>Globospirillina caucasica</i> , <i>Trocholina alpina</i> . | Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis | <i>Anchispirocyclus lusitanica</i> , <i>Stomatostoecha compressa</i> , <i>Melathrokerion spirialis</i> , <i>M. eospirialis</i> , <i>Belorussiella taurica</i> , <i>Textularia densa</i> , <i>Glomospira multivoluta</i> , <i>Lenticulina immensa</i> , <i>Astacolus laudatus</i> , <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> , <i>Pseudonodosaria tutkovskii</i> , <i>Ophthalmidium signoliniformis</i> , <i>Ramulina spinata</i> , <i>Globospirillina caucasica</i> , <i>Trocholina alpina</i> , <i>Discorbis crimicus</i> , <i>D. agalarovae</i> , <i>D. infracretaceous</i> . |
| Не досліджувались | | | | |
| Не досліджувались | | | | |
| Не досліджувались | | | Верстви з Epistomina praetariensis-Globuligerina parva | <i>Lenticulina simplex</i> , <i>Spirillina kubleri</i> |
| <i>Lenticulina russiensis</i> - <i>Epistomina uhligi</i> | <i>Textularia jurassica</i> , <i>Epistomina stelligeraformis</i> . | Не вивчено | <i>Lenticulina russiensis</i> - <i>Epistomina uhligi</i> | <i>Epistomina volgensis</i> , <i>E. uhligi</i> |
| Не вивчено | | | <i>Lenticulina quenstedti</i> - <i>Globuligerina oxfordiana</i> | <i>Lenticulina attenuata</i> , <i>Epistomina nemunensis</i> , <i>Globuligerina oxfordiana</i> , <i>Spirillina kubleri</i> |

Рис. 2.2. Біостратиграфічна схема верхньоюрських-нижньокрейдових відкладів (оксфорд-нижній беріас) Гірського Криму

(15%). В данному угрупованні виявлені планктонні форми (*Globuligerina gulekensis* Gorb.), які представлені поодинокими видами. Характерними видами є *Glomospira multivoluta* Rom., *Anchispirocyclus lusitanica* (Egger), *Stomatostoecha compressa* Gorb., *Melathrokerion spirialis* Gorb., *M. eospirialis* Gorb., *Textularia densa* Gof., *Belorussiella taurica* Gorb., *Lenticulina immensa* K. Kuz., *Astacolus laudatus* (Reuss), *Saracenaria tsaramandrosoensis* Epit. et Sig., *Pseudonodosaria tutkovskii* (Mjatl.), *Ophthalmidium signoliniformis* (Ant.), *Ramulina spinata* Ant., *Globospirillina caucasica* (Goff.), *Trocholina alpina*

(Leup.), *Discorbis crimicus* Schok., *D. agalarovae* Ant., *D. infracretaceous* Schok. В угрупованні з'являються поодинокі нижньоберіаські види: *Gaudryina* cf. *alternans* Gorb., *Paleotextularia crimica* Gorb., *Dorothia* cf. *praeoxycona* Moul., *Verneuilina angularis* Gorb., *Lenticulina* cf. *neocomiana* (Rom.), *L. macra* Gorb., *Trocholina molesta* Gorb., *T. burlini* Gorb., *T. elongata* (Leup.), *Siphoninella antique* Gorb. Разом з тим виявлені скупчення *Anchispirocyclus lusitanica* (Egger), *Lenticulina macra* Gorb., *Marginulina* cf. *mollis* K. Kuz., *Epistomina ventriosa* Epit. et Sig., *Globospirillina caucasica* (Hoff.), *Spirillina kübleri*

(Mjatl.), *Trocholina elongata* (Leup.). Відклади зони *Anchispirocyclina lusitanica*-*Melathrokerion spirialis* простежені у нижній частині двоякірної світи.

БЕРІАСЬКИЙ ЯРУС. Нижній беріаський під'ярус. Зона Protopeneroplis ultragranulatus - Siphoninella antiqua.

Нижньоберіаські відклади досліджувались в Демерджі-Карабійській СФЗ (відслонення на околицях с. Боксан північний схил г. Карабі-Яйла) і в Судацько-Феодосійській СФЗ (відслонення с. Красноселівка, Двоаякірна бухта, мис Св. Іллі та свердловинах № 54 район смт Багате, № 47 хр. Суук-Су) (Рис. 1, 2) [7; 9; 10; 12].

В Демерджі-Карабійській СФЗ відклади представлені глинами карбонатними, з яких виділені форамініферові угруповання. Угруповання малочисельні, представлені бентосними формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (72%) переважають над аглютинуючими (28%). Характерними видами є *Triplasia cf. emslandensis acuta* Bart. et Brand, *Lenticulina macra* Gorb., *Discorbis crimicus* Schok., *Trocholina molesta* Gorb., *T. durlini* Gorb., *T. alpina* (Leup.). В угрупованнях ще продовжують існувати поодинокі титонські види: *Stomatostoecha compressa* Gorb., *Ammobaculites hagni* Bhalla et Abbas, *A. infravolgensis* Mjatl., *A. subaequalis* Mjatl., *Melathrokerion spirialis* Gorb., *Textularia densa* Gof., *Quinqueloculina podlubiensis* Teres., *Lenticulina uspenskajae* K. Kuz., *Epistomina cf. ventriosa* Esp. et Sig. Відклади зони *Protopeneroplis ultragranulatus*-*Siphoninella antiqua* простежені у верхній частині беденекірської світи.

В Судацько-Феодосійській СФЗ відклади представлені глинами алевритистими, строка-тими, щільними, вапнистими, пісковиками сірими дрібнозернистими глинистими, вапняками глинистими, сірими, алевролітами піскуватими та пісковиками глинистими дрібнозернистими та глинами темно-сірими, перешаруванням зеленувато-сірих тонкоплитчастих глин, алевролітів, коричневатого-сірих масивних вапняків і мергелів темно-зеленувато-сірих міцних плитчастих, вапняком темно-брунатним дрібнозернистим з тонкими лінзами чорної і сірої глини. Форамініферові угруповання виділені з алевролітів, мергелів, глин, вапняків. Угруповання багаточисельні, рідше малочисельні, представлені бентосними (99%) і планктонними (1%) формами. За кількістю видів форми з секретійною черепашкою (82%) переважають над аглютинуючими (17%). Планктонні форми представлені поодинокі видами *Globuligerina gulekhensis* (Gorb. et Por.), *G. cf. caucasica* Gorb. et Por.. Характерними видами є *Stomatostoecha enisalensis* Gorb., *Melathrokerion*

spirialis Gorb., *Belorussiella taurica* Gorb., *Verneuilina angularis* Gorb., *V. subminuta* Gorb., *Lenticulina cf. ambanjabensis* Espit. et Sig., *Discorbis praelongus* Gorb., *D. crimicus* Schok., *D. infracretaceous* Schok., *Pseudolamarckina reussi* (Ant.), *Globospirillina neocomiana* (Moul.), *Siphoninella antique* Gorb., *Protopeneroplis ultragranulatus* Gorb., *Trocholina alpina* (Leup.), *T. molesta* Gorb., *T. burlini* Gorb., *T. elongata* (Leup.). В угрупованнях з'являються поодинокі крейдові види: *Triplasia emslandensis acuta* Bart. et Br., *Gaudryina neocomica* Chal., *G. gradata* Bert., *Gaudryiadhella onachensis* (Sig.), *Quinqueloculina infravalanginiana* Bart., *Lenticulina neocomiana* Gorb., *L. macra* Gorb., *L. cf. onachensis onachensis*, *L. cf. guttata guttata* (ten Dam), *L. cf. circumcidanea* (Bert.), *Saracenaria cretacea* Gorb., *S. cf. navicula* (Orb.), *Vaginulina recta* Reuss, *V. truncata* Reuss, *V. cf. hagenovi* (Reuss), *Vaginulinopsis cf. grata* (Reuss), *Nodosaria grassulariformis* Bass., *N. cf. concinna* Reuss, *N. paupercula* Reuss та ін. Також продовжують існувати поодинокі титонські види - *Ammobaculites hagni* Bhal. et Ab., *Ammodiscus cf. veteranus* Kosyr., *Gaudryina vadaszi* Cush. et Glaz., *Ophthalmidium sigmoiliniiformis* (Ant.), *Astacolus praesibirensis* Kos., *A. aquilonicus* (Mjatl.), *A. laudatus* (Reuss), *Lenticulina uspenskajae* K. Kuz., *L. gregaria* Putrja, *L. cf. tumidiuscula* Pjat., *L. cf. tanatcheva* Putrja, *Epistomina ventriosa* Espit. et Sig., *Discorbis agalarovae* Ant., *Trocholina solecensis* Biel. et Poz. Разом з тим виявлені скупчення *Glomospira gordialis* (Jon. et Par.), *Epistomina caracalla anterior* Bart. et Br., *Discorbis crimicus* Schok., *Globospirillina caucasica* (Hoff.), *Lenticulina neocomiana* Gorb., *L. macra* Gorb., *Trocholina molesta* Gorb., *T. elongata* (Leup.). Відклади зони *Protopeneroplis ultragranulatus*-*Siphoninella antiqua* простежені у верхній частині двоякірної світи.

Висновки. За результатами досліджень автором в розрізах Гірського Криму за форамініферами встановлені біостратиграфічні підрозділи зони: в нижньому оксфорді - *Lenticulina quenstedti*-*Globuligerina oxfordiana*; у верхньому оксфорді - *Lenticulina russiensis*-*Epistomina uhligi*; у верхньому титоні - *Anchispirocyclina lusitanica*-*Melathrokerion spirialis* та у нижньому беріасі, нижню зону - *Protopeneroplis ultragranulatus*-*Siphoninella antiqua*; і верстви в нижньому кімериджі з *Epistomina praetariensis*-*Globuligerina parva*. Зона нижнього оксфорду *Lenticulina quenstedti*-*Globuligerina oxfordiana* є в верхній частині судацької світи Судацько-Феодосійській СФЗ; зона верхнього оксфорду *Lenticulina russiensis*-*Epistomina uhligi* простежується в нижній частині яйлинської світи в Ай-Петрі-Бабуганській та в нижній частині манджильської світи в

Судацько-Феодосійській СФЗ; зона верхнього титону *Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis* простежується у верхній частині деймендеринської світи в Сухоріченсько-Байдарській, у нижній частині беденекирської світи в Демерджи-Карабійській та у нижній частині двоякірної світи Судацько-Феодосійській СФЗ; зона нижнього беріасу *Protopenoplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua* – простежується у верхній частині беденекирської світи Демерджи-Карабійській та у верхній частині двоякірної світи Судацько-Феодо-

сійській СФЗ; верстви нижнього кімериджу з *Epistomina praetariensis-Globuligerina parva* простежуються у верхній частині манджильської світи в Судацько-Феодосійській СФЗ. В результаті проведених мікрофауністичних досліджень верхньоюрських та нижньокрейдових (оксфорд-нижній беріас) відкладів у досліджених автором розрізах встановлені біостратиграфічні підрозділи за форамініферами та доповнено палеонтологічну характеристику даних відкладів Гірського Криму.

Література

1. Анікеева О.В., Жабіна Н.М. Умови седиментації верхньоюрських відкладів Гірського Криму (Ялтинський амфітеатр) [Текст] / О.В. Анікеева, Н.М. Жабіна // *Викопна фауна і флора України: Палеоекологічний та стратиграфічний аспекти*. – Київ, 2009. – С. 99-103.
2. Аркадьев В.В. Новые данные по биостратиграфии берриасских отложений бассейна р. Тонасу (Горный Крым) [Текст] / В.В. Аркадьев, Т.Н. Богданова, С.В. Лобачева // *Второе всерос. совещ. «Меловая система России: проблемы стратиграфии палеогеографии»*. – СПб., 2005. – С. 111-135.
3. Аркадьев В.В., Рогов М.А. Новые данные по биостратиграфии и аммонитам верхнего кимериджа и титона Восточного Крыма [Текст] / В.В. Аркадьев, М.А. Рогов // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. – 2006 (а). – Т. 14, № 2. – С. 90-104.
4. Аркадьев В.В. Биостратиграфия пограничных отложений юры и мела Восточного Крыма [Текст] / В.В. Аркадьев, А.А. Федорова, Ю.Н. Савельева, Е.М. Тесакова // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2006. (б) – Т. 14, № 3. – С. 84-112.
5. Аркадьев В.В. Берриас Горного Крыма [Текст] / В.В. Аркадьев, Т.Н. Богданова, А.Ю. Гужиков, С.В. Лобачева Н.В. Мышкина, Е.С. Платонов, Ю.Н. Савельева, О.В. Шурекова, Б.Т. Янин. – Санкт-Петербург: Лема, 2012. – 473 с.
6. Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание [Текст] / под. ред. А.В. Сидоренко. – М.: Недра, 1969. – 575 с.
7. Доротяк Юлія Стратифікація титон-беріаських відкладів південно-східної частини Гірського Криму за форамініферами [Текст] / Юлія Доротяк // *Палеонтол. зб.* – Львів, 2007. – № 39. – С. 125-130.
8. Доротяк Ю.Б. Розподіл форамініфер в оксфордських відкладах Гірського Криму [Текст] / Ю.Б. Доротяк // *Палеонтологічні дослідження в Україні: історія, сучасний стан та перспективи: Зб. наук. праць ІГН НАН України*. – Київ, 2007. – С. 134-139.
9. Доротяк Ю.Б. Фораминиферовые комплексы пограничных титон-берриасских отложений Горного Крыма [Текст] / Ю.Б. Доротяк // *Біостратиграфічні основи побудови стратиграфічних схем фанерозою України: Зб. наук. праць ІГН НАН України*. – Київ, 2008. – С. 78-82.
10. Доротяк Ю.Б. Характеристика пограничных отложений юры и мела в Горном Крыму (фораминиферы, известковый и аннопланктон, диноцисты, палинокомплексы) [Текст] / Ю.Б. Доротяк, А.В. Матвеев, Е.А. Шевчук // *Викопна фауна і флора України: Палеоекологічний та стратиграфічний аспекти: Зб. наук. праць ІГН НАН України*. – Київ, 2009. – С. 108-117.
11. Доротяк Ю.Б. Палеогеографія пізньокеловейсько – ранньокімериджського басейну Гірського Криму [Текст] / Ю.Б. Доротяк // *Проблеми обґрунтування регіональних стратонів фанерозою України: Матеріали XXXVII сесії Палеонтол. т-ва НАН України*. – Київ, 2016. – С. 47-49.
12. Доротяк Ю.Б., Клименко Ю.В. Форамініфери і спікули губок з пограничних відкладів юри та крейди східної частини Гірського Криму [Текст] / Ю.Б. Доротяк, Ю.В. Клименко // *40 років Палеонтологічному товариству України: Матеріали XXXIX сесії Палеонтол. т-ва НАН України*. – Київ, 2017. – С. 89-91.
13. Жабіна Н.М. До питання проведення межі юри та крейди в Криму за форамініферами [Текст] / Н.М. Жабіна // *Матеріали палеонтологічного товариства НАН України. Біосфера і геологічні катастрофи*. – Київ, 1997. – С. 33-34.
14. Жабіна Н.М., Анікеева О.В. Нові дані, щодо віку двоякірної світи (Південно-східний Крым) [Текст] / Н.М. Жабіна, О.В. Анікеева // *Палеонтологічні дослідження в удосконаленні стратиграфічних схем фанерозойських відкладів: Матеріали XXXVII сесії Палеонтол. т-ва НАН України*. – Київ, 2012. – С. 41-43.
15. Кузнецова К.И., Горбачик Т.Н. Стратиграфия и фораминиферы верхней юры и нижнего мела Крыма [Текст] / К.И. Кузнецова, Т.Н. Горбачик; под. ред. Вахрамеев В.А. – М.: Наука, 1985. – 132 с.
16. Лецух Р.Й. Нижня крейда заходу і півдня України [Текст] / Р.Й. Лецух. – К.: Наук. Думка, 1992. – 208 с.
17. Лецух Р.Й., Юрські відклади півдня України [Текст] / Р.Й. Лецух, В.В. Пермяков, Б.М. Полухтович. – Львів: Євровіт, 1999. – 336 с.
18. Матвеев А.В. Известковый наннопланктон из пограничных отложений юры и мела Восточного Крыма [Текст] / А.В. Матвеев // *Матеріали XXXIX сесії палеонтологічного товариства НАН України*. – Київ, 2017. – С. 92-93.

19. Матвеев А.В. Титон центральной части Горного Крыма [Текст] / А.В. Матвеев // Материали міжнародної науково-практичної конференції «Регіон-2008: Стратегія оптимального розвитку». – Харків. 2008. – С. 341-344.
20. Матвеев А.В. Известковый нанопланктон титона Восточного Крыма [Текст] / А.В. Матвеев // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. Вископна фауна і флора України: Палеоекологічний та стратиграфічний аспекти. – Київ, 2009. – С. 104-107.
21. Матвеев А.В. Стратиграфия нижнего мела юга Украины по известковому наннопланктону [Текст] / А.В. Матвеев // Геол. журн. 2014. № 4. – С. 67-74.
22. Матвеев А.В. Известковый нанопланктон нижнего берриаса Горного Крыма [Текст] / А.В. Матвеев // Меловая система России и ближнего зарубежья: Проблемы стратиграфии и палеогеографии под ред. Е.Ю. Барабошкина, И.В. Благовеценского. V Всерос. совещ. – Ульяновск: УлГУ, 2010. – С. 251-256.
23. Матвеев А.В. Стратиграфия нижнего мела Юго-Восточного Крыма по известковому наннопланктону [Текст] / А.В. Матвеев // Современная микропалеонтология. Труды Всероссийского микропалеонтологического совещания. – Москва. 2012. – С. 313-316.
24. Матлай Л.М. Стратиграфічне розчленування прибережових розривів юри і крейди Східного Криму за вапняковим нанопланктоном [Текст] / Л.М. Матлай // Доп. НАН України. 2011. № 1. – С. 106-111.
25. Пермяков В.В., Пермякова М.Н., Чайковский П.П. Новая схема стратиграфии юрских отложений Горного Крыма [Текст] / В.В. Пермяков, М.Н. Пермякова, П.П. Чайковский // Препр. АН Укр. Ин-т геол. наук; 91-12. – Киев, 1991. – 38 с.
26. Пермяков В.В. Новые местные стратиграфические подразделения в юре Горного Крыма [Текст] / В. Пермяков, М.Н. Пермякова, О.Г. Седенко, П.П. Чайковский // Геологічний журнал. – Київ, 1993. № 2. - С. 79-81.
27. Стратиграфія юрських відкладів УРСР. Т. 7. Юра. [Текст] / За ред. І.М. Ямниченка. – Київ: Наук. думка, 1969. – 216 с.
28. Стратиграфическая схема юрских отложений Украины [Текст]. – Киев: Наук. думка, 1970. – 28 с.
29. Стратиграфическая схема меловых отложений Украины и объяснительная записка. [Текст]. – Киев: Наук. думка, 1971. – 91 с.
30. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України [Текст] / Гол. ред. П.Ф. Гожик, ІГН НАН України. – Київ: Логос, 2013. – 638 с.

UDC 56.076:551.762(477)

Yuliya Dorotyak,

Junior Researcher, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: dorotyak78@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0498-1892>

BIOSTRATIGRAPHIC PARTITION OF THE UPPER JURASSIC AND LOWER CRETACEOUS (OXFORDIAN - LOWER BERRIASIAN) DEPOSITS OF THE CRIMEAN MOUNTAINS FOR FORAMINIFERS

Introduction. Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits in the Crimean Mountains are widespread and are represented by all stages - Oxfordian, Kimmeridgian, Tithonian, and Berriasian. These deposits have been unevenly studied. The most studied deposits are the Oxfordian, Tithonian and Berriasian stages. The biostratigraphic division of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Mountain Crimea is based on "Stratigraphic scheme of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Mountain Crimea" 2013.

Purpose. Detailed biostratigraphic division of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous (Oxfordian - Lower Berriasian) of the Mountain Crimea as results of foraminiferal analysis.

Results of the study. There are five foraminiferal complexes in sections that characterize Upper Jurassic (Lower Upper Oxfordian, Lower Kimmeridgian, Upper Tithonian) and Lower Cretaceous (Lower Berriasian) age. Analysis of foraminiferal complexes allowed us to establish biostratigraphical zones in each section: oxfordiana in the Lower Oxfordian Lenticulina quenstedti-Globuligerina; in the Upper Oxfordian Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi; in the Upper Tithonian Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis; in the Lower Berriasian (lower zone) Protopeneroplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua and layers in the Lower Kimmeridgian with Epistomina praetariensis-Globuligerina parva. Specified foraminiferal zones were traced by us in different structural-facial zones (zone Lenticulina quenstedti-Globuligerina oxfordiana - in Sudak-Feodosia; zone Lenticulina russiensis-Epistomina uhligi - in Ai-Petri-Babugansk and Sudak-Feodosia; strata layers with Epistomina praetariensis-Globuligerina parva - in Sudak-Feodosia; zone Anchispirocyclus lusitanica-Melathrokerion spirialis - in Sukhorychensk-Baidar, Demerdzhi-Karabijskaya and Sudak-Feodosiya; the zone of Protopeneroplis ultragranulatus-Siphoninella antiqua in Demerdzhi-Karabijskaya and Sudak-

Feodosiya). Characteristic features of each foraminifera zone include a complex of species, disappearing species, and species that continue to exist, as well as particular features of the complexes. According to lithological peculiarities and paleontological characteristics, suite and sub suite are defined.

Conclusions. As a result of the study, the biostratigraphic characteristics of the sections have been specified and the paleontological characteristics of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Mountain Crimea have been supplemented.

Keywords: Oxfordian, Kimmeridgian, Tithonian, Berriasian, foraminiferal complexes, foraminiferal zone, structural-facial zone, Crimean Mountains

References

1. Anikeyeva O.V., Zhabina N.M. (2009). *Sedimentation conditions of the Upper Jurassic deposits in the Crimean Mountains, Yalta Amphitheater. Fossil flora and fauna of Ukraine: paleoecological and stratigraphic aspects: Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine.* Kyiv, 99-103.
2. Arkadiev V.V., Bogdanova T.N., Guzhikov A.Yu., Lobacheva S.V., Myshkina N.V., Platonov E.S., Savelyeva Yu.N., Shurekova O.V., Yanin B.T. (2012). *Berriasian stage of the Mountainous Crimea.* V.V. Arkadiev, T.N. Bogdanova (Editors). St.-Petersburg: Lema, 473.
3. Arkadyev V.V., Rogov M.A. (2006). *New data on biostratigraphy and ammonites of the Upper Kimmeridgian and Tithonian of the Eastern Crimea. Stratigraphy. Geol. correlation.* T. 14, No. 2, 90-104.
4. *Geology of the USSR. (1969) T. 8. Crimea. Part 1. Geological description: Sidorenko A.V. (Ch. ed.). Moscow: Nedra, 575.*
5. Dorotyak Yulia (2007). *The stratification of the Tithonian-Berriasian sediments of the foraminifers in the South-East part of the Crimean Mountain. Paleontologichnyy zbirnyk, № 39, 125-130.*
6. Dorotyak Yu.B. (2007). *The distribution of foraminifers in Oxford sediments of the Mountainous Crimea. Paleontological studies in Ukraine: history, present-day state and prospects: Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine.* Kyiv, 134-139.
7. Dorotyak Yu.B. (2008). *Foraminifer's complex of the frontier Tithonian-Berriasian sediments of the Crimean Mountains. Biostratigraphic fundamentals of creating the stratigraphic schemes of the Phanerozoic of Ukraine: Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine.* Kyiv, 78-82.
8. Dorotyak Yu.B., Matveev A.V., Shevchuk E.A. (2009). *Characteristics of the conterminal scurfs drainage area of Jurassic and Cretaceous in the Crimean Mountains (foraminifers, calcareous nanoplankton, dinocysts, palinocomplexes). Fossil flora and fauna of Ukraine: Paleoecological and stratigraphic aspects: Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine.* Kyiv, 108-117.
9. Dorotyak Yu.B. (2016). *Paleogeography of the Late Callovian - Earley Kimmeridgian Basin of the Crimean Mountains. Problems of justification of regional stratigraphic units of Phanerozoic of Ukraine: Proceedings of XXXVII session of Paleontological society of NAS of Ukraine.* Kyiv, 47-49.
10. Dorotyak Yu.B., Klimenko Yu.V. (2017). *Foraminifers and sponges from the boundary sediments of the Jurassic and Cretaceous of the eastern part of the Crimean Mountains. Paleontological society of Ukraine is 40 years: Proceedings of XXXIX session of Paleontological society of NAS of Ukraine.* Kyiv, 89-91.
11. Zhabina N.M., Anikeyeva O.V. (2012). *New data on the age of the biaxial world (Southeast Crimea). Proceedings of XXXIV session of Paleontological society of NAS of Ukraine.* Kyiv, 41-43.
12. Kuznetsova K.I., Gorbachik T.H. (1985). *Upper Jurassic and Lower Cretaceous stratigraphy and foraminifers of the Crimea.* Vachrameev (responsible). Moscow: Nauka, 132.
13. Leschukh R.Y. (1992). *Lower Cretaceous of the West and the South of Ukraine.* Kyiv: Nauk.Dumka, 208.
14. Leschukh R.Y., Permyakov V.V., Polukhtovich B.M. (1999). *Jurassic deposits of southern Ukraine.* Lviv: Eurovision, 336.
15. Permyakov V.V., Permyakova M.N., Tchaikovsky P.P. (1991). *New scheme of stratigraphy of the Jurassic deposits of the Crimean Mountains. Pres. AU Ukr. Institute of Geological Sciences; 91-12.* Kyiv, 38.
16. Permyakov V.V., Permyakova M.N., Sedenko O.G., Tchaikovsky P.P. (1993). *New local stratigraphic subdivisions in the Crimean Mountains. Geol. Journ. № 2, 79-81.*
17. *Stratigraphy of the Jurassic deposits in the Ukrainian SSR. Vol. VII. Jurassic. (1969).* Kyiv: Naukova Dumka, 101-124.
18. *Stratigraphic scheme of the Jurassic sediments of Ukraine. (1970).* Kyiv: Naukova Dumka, 28.
19. *Stratigraphic scheme of Cretaceous deposits of Ukraine and explanatory note. (1971).* Kyiv: Naukova Dumka, 91.
20. Hozhyk P.F. ed. (2013). *Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Vol.1. Stratigraphy of Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine.* Kyiv Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. Logos, 637.

УДК 551.49:553.98(477.7)

Іванна Володимирівна Колодій,

к. геол. н., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, м. Львів, 79060, Україна,
e-mail: ivannakolodiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6879-1051>;

Галина Богданівна Медвідь,

к. геол. н., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
e-mail: hamedvid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>

ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЬОКРЕЙДОВОГО ТЕРИГЕННОГО КОМПЛЕКСУ КАРКІНІТСЬКО-ПІВНІЧНОКРИМСЬКОГО ПРОГИНУ В АСПЕКТІ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ

В статті проаналізовано гідрогеологічні особливості нижньокрейдових відкладів на північно-західному шельфі Чорного моря. Підвищений нафтогазогеологічний інтерес до нижньокрейдового глинисто-теригенного комплексу зумовлений тим, що майже всі локальні підняття в осадових відкладах палеоцен-міоцену на невеликих глибинах вже виявлені і розбурені. Водночас перспективність нижньокрейдових відкладів підтверджується відкриттям нафтових і газових родовищ на Румунському шельфі.

Встановлено регіональні особливості поширення пластових вод нижньокрейдових відкладів і механізми формування їх хімічного складу. Підземні води нижньокрейдового водоносного комплексу акваторії головно хлоридно-кальцієвого типу і ближчі за складом до морської води порівняно з підземними водами, що розкриті свердловинами на суші. Це пов'язано з вагомою часткою седиментогенних вод, значною тривалістю елізійних етапів в історії розвитку регіону і може свідчити про сприятливі умови для формування та збереження вуглеводневих покладів. Сульфатно-натрієві води базального горизонту і нижньокрейдового водоносного комплексу найімовірніше є давньоінфільтрогенними. Про це свідчить зменшення в підземних водах цих комплексів значень показників метаморфізації rCa/rMg , $r(Cl-Na)/rMg$ і збільшення Cl/Br до понад 1000, пониженими вмістами J , Br . Основними процесами формування хімічного складу вод докрейдового і нижньокрейдового комплексів могли бути: вилуговування порід; змішування інфільтрогенних прісних чи солонуватих вод з таласогенними; змішування цих вод з водами високотемпературної дегідратації глинистих порід з утворенням неінфільтрогенних сульфатно-натрієвих і гідрокарбонатно-натрієвих вод. Геобаричні умови і фільтраційні параметри дозволяють припустити, що потоки вод елізійної водонапірної системи можуть рухатись із найзануреніших частин Каркінітсько-Північнокримського прогину в напрямку до його борти. Обґрунтовано перспективи нафтогазоносності нижньокрейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину за гідрогеохімічними та газо-гідрогеохімічними показниками і визначені перспективні ділянки для геолого-пошукових робіт.

Ключові слова: Каркінітсько-Північнокримський прогин, гідрогеохімічні умови, газонасиченість, коефіцієнт гідростатичності, геобаричні умови.

И. В. Колодий, Г. Б. Медвидь. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЕМЕЛОВОГО ТЕРИГЕННОГО КОМПЛЕКСА КАРКИНИТСКО-СЕВЕРОКРИМСКОГО ПРОГИБА В АСПЕКТЕ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ. В статье проанализировано гидрогеологические особенности нижнемеловых отложений на северо-западном шельфе Черного моря. Повышенный нефтегазогеологический интерес к нижнемеловому глинисто-терригенному комплексу обусловлен тем, что почти все локальные поднятия в осадочных отложениях палеоцен-миоцена на небольших глубинах уже обнаружены и разбурены. В то же время перспективность нижнемеловых отложений подтверждается открытием нефтяных и газовых месторождений на Румынском шельфе.

Установлены региональные особенности распространения пластовых вод нижнемеловых отложений и механизмы формирования их химического состава. Подземные воды нижнемелового водоносного комплекса акватории в основном хлоридно-кальциевого типа и ближе по составу к морской воде по сравнению с подземными водами, вскрытыми скважинами на суше. Это связано с весомой долей седиментогенных вод, значительной продолжительностью елизионных этапов в истории развития региона и может свидетельствовать о благоприятных условиях для формирования и сохранения углеводородных залежей. Сульфатно-натриевые воды базального горизонта и нижнемелового водоносного комплекса вероятнее всего являются древнеинфильтрогенными. Об этом свидетельствует уменьшение в подземных водах этих комплексов значений показателей метаморфизации rCa/rMg , $r(Cl-Na)/rMg$ и увеличение Cl/Br до более 1000, пониженное содержание J , Br . Основными процессами формирования химического состава вод домелового и нижнемелового комплексов могли быть: выщелачивания пород; смешивание инфильтрогенных пресных или солоноватых вод с таласогенными; смешивание этих вод с водами высокотемпературной дегидратации глинистых пород с образованием неинфильтрогенных сульфатно-натриевых и гидрокарбонатно-натриевых вод. Геобарические условия и фильтрационные параметры позволяют предположить, что потоки вод елизионной водонапорной системы могут двигаться с самых погруженных частей Каркинитско-Северокрымского прогиба по направлению к его бортам. Обоснованы перспективы нефтегазоносности нижнемеловых отложений Каркинитско-Северокрымского прогиба по гидрогеохимическим и газо-гидрогеохимическим показателям и определены перспективные участки для геолого-поисковых работ.

Ключевые слова: Каркинитско-Северокрымский прогиб, гидрогеохимические условия, газонасыщенность, коэффициент гидростатичности, геобарические условия.

Постановка проблеми. Відклади нижньої крейди особливо акваторійної частини Каркінітсько-Північнокримського прогину відносяться до недостатньо вивчених як з точки зору геологічної будови, так і перспектив їх нафтогазоносності.

Перспективи нафтогазоносності надр обґрунтовуються певним комплексом ознак (критеріїв). Серед критеріїв оцінки важливе місце займають гідрогеологічні: загальний характер гідрогеологічної обстановки, геохімічні характеристики підземних

вод, гідрогеобаричні умови, тощо. Оскільки гідрогеологічні особливості нижньокрейдових відкладів на північно-західному шельфі Чорного моря вивчені недостатньо в порівнянні з суходолом, постало питання деталізації та аналізу усього наявного гідрогеохімічного та геобаричного матеріалу для оцінки перспектив нафтогазоносності. Робота проводиться в рамках теми: "Особливості геологічної будови земної кори заходу і півдня України та їх вплив на формування покладів корисних копалин".

Методика. В дослідженнях підземних вод і водорозчинених газів використовувались методи хімічного, кількісного спектрального і атомно-абсорбційного аналізів, газова хроматографія виконаних в лабораторіях ДАТ "Чорноморнафтогаз", ДП "Кримгеологія" та ІГГК НАНУ. Для порівняння пластових тисків застосований коефіцієнт гідростатичності (K_r), за який прийняте відношення виміряного пластового тиску до умовно гідростатичного на глибині вимірювання при $\gamma=1,000$ ($P_{пл}/P_{гг}$). Це дозволяє виключити вплив неодинакових глибин заміру тисків при різних густинах води, тобто отримати приведену величину. Для обробки матеріалів використовувались комп'ютерні програми Excell, Corell Draw та Surfer.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Гідрогеохімічні дослідження, що проводилися протягом останніх 70-ти років, стосувались виключно об'єктів, розташованих в межах Причорномор'я і Кримського півострова. Різні аспекти формування іонно-сольового і мікрокомпонентного складів підземних вод розглянуті в працях І. М. Доленко (Ліхоманова), В. В. Колодія, Т. П. Сиван, А. С. Тердовидова, О. Д. Штогрин та ін. [3–5, 9, 11, 13, 16].

Фундаментальна проблема походження підземних вод нафтових і газових родовищ Причорномор'я понад століття розглядається в працях, головним чином гідрогеологів і гідрогеохіміків-нафтовиків [1–5, 9, 11, 13, 15–18]. Праці ж, присвячені підземним водам акваторії, опубліковані упродовж останніх 20-и років, пов'язані головню з перспективами добре випробуваних палеоценового, еоценового, олігоценного та неогенового комплексів. [10, 20–23].

З усіх наявних гіпотез походження підземних вод глибоких горизонтів нафтогазоносних водонапірних басейнів найкраще в гідрогеохімічному ракурсі опрацьована гіпотеза седиментогенних, а точніше, літогенних вод [1, 6 та ін.].

Уявлення про таласогенну (морську) природу переважної частини глибоких вод нафтогазоносних водонапірних басейнів базуються на взаємозв'язках основних геохімічних показників (співвідношень аніонів і катіонів та мікроелемен-

тів) в підземних водах на різних етапах концентрування (збільшення мінералізації) останніх, на подібності хімічних складів гравітаційно-рухомих підземних вод в породах-колекторах і фізично зв'язаних вод (порових розчинів) водотривких, головним чином, пелітових товщ (властивих і району наших досліджень) [9,13], на залежності мінералізації та хімічного складу вод від літолого-фаціальних особливостей осадового чохла. Зміни ж інших параметрів пояснюються фізико-хімічними процесами всередині водоносної товщі (окислювально-відновні, іоннообмінні, аутигенне мінералоутворення та ін).

На думку [1, 5, 16, 21] у найзануренішій частині Каркінітсько-Північнокримського прогину прогнозувалася наявність області елізійного живлення басейну седиментогенними водами. Окрему увагу заслуговують гідрохімічні ознаки продуктивних пасток сухопутної частини прогину висвітлені в працях [3, 5, 16]. До прямих ознак нафтогазоносності віднесено присутність водорозчиненої органічної речовини нафтового походження – вперше для сухопутної частини району дослідженої Нечиною С. В. Сюди ж відноситься наявність водорозчинених газів вуглеводневого складу з тиском насичення, що зростає до пластового в міру наближення до покладу, вивчені Тердовидовим А. С. в Степовому Криму.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Походження і механізм формування хімічного складу підземних вод акваторійної частини Каркінітсько-Північнокримського прогину спеціально не розглядалися, за винятком нашої публікації [22], де обґрунтовується конденсаційна генеза частини вод палеоценового комплексу Голіцинського газоконденсатного родовища. Тому окремі сторони проблеми, зокрема дослідження гідрогеологічних і гідрогеохімічних особливостей субаквальних нафтогазоносних басейнів, все ще залишаються дискусійними. Наприклад, деякі дослідники піддають сумніву факт наявності вод сульфатно-натрієвого типу за В. О. Суліним на великих глибинах, адже води цього типу нехарактерні для відновлювальної геохімічної обстановки.

Фактичний матеріал засвідчує зростання ступеня сульфатності з глибиною починаючи з еоценового водоносного комплексу, а води сульфатно-натрієвого типу зустрічаються навіть в газових покладах. Експериментальні дослідження свідчать про підвищену сульфатність міцно зв'язаних вод, які відтискаються на пізніх стадіях дегідратації глинистих порід. Такі явища відомі і в інших водонапірних басейнах. Щодо нашого припущення про палеоінфільтрацію у нижньокрейдовому водоносному комплексі, то це стосується тільки південної частини регіону, де води

характеризуються високим Сl/Br коефіцієнтом, а палеогеографічна ситуація не суперечить можливості палеоінфільтрації.

Підвищений нафтогазогеологічний інтерес до нижньокрейдового глинисто-теригенного комплексу зумовлений тим, що майже всі локальні підняття в осадових комплексах палеоцен-міоцену на невеликих глибинах вже виявлені і розбурені. В нижньокрейдових відкладах промислові поклади вуглеводнів в акваторії до цього часу не встановлені. Водночас перспективність нижньокрейдових відкладів підтверджується відкриттям нафтових і газових родовищ на Румунському шельфі.

Продуктивними можуть бути пісковики неокому-апту та вулканогенно-кластичні породи альбу, що залягають на економічно виправданих і технічно доступних глибинах. Основними субрегіональними покривками є глинисті утворення середньоальбського і верхньої частини верхньоальбського під'ярусів.

Мета. На підставі аналізу геохімічних та геобаричних особливостей підземних вод оцінити перспективи нафтогазоносності нижньокрейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину.

Гідрогеохімічні умови водоносного комплексу нижньої крейди. Теригенні утворення нижньої крейди в Каркінітсько-Північнокримському прогині розвинуті достатньо широко. Найчастіше вони неузгоджено залягають на різновікових породах – від архейських до юрських і неузгоджено перекриваються сеноманськими. В їх складі зустрічаються пісковики, але переважають аргіліти і алевроліти. На більшій частині акваторії в межах Скіфської плити глибини залягання покрівлі нижньокрейдових відкладів понад 3500–4000 м, а підошви – понад 8000 м, тому вивчені вони мало.

У північній частині Каркінітсько-Північнокримського прогину і прилеглий акваторії верхньобаремські відклади відсутні і на складчастій протерозойсько-юрській основі безпосередньо залягають алевроліто-піщані утворення неокому-аптського або альбського віків, що отримали назву базального водоносного комплексу [5]. Представлені вони пісковиками з прошарками грубоуламкових порід, алевролітів і глин, загальною потужністю до 350 м. Колектори порові, з відкритою пористістю 1,8–29,1 %, проникністю $(100–500) \cdot 10^{-3}$ мкм². На ділянках глибшого залягання розповсюджені і тріщинні колектори. Водозбагаченість комплексу змінюється від кількох м³/добу (найзатуреніші частини Каркінітсько-Північнокримського прогину) до десятків і сотень, іноді до 1000 м³/добу в Рівнинному Криму і північно-східному Причорномор'ї (Генічеська, Новоселівська площі). В акваторії припливи води з докрейдових

відкладів отримані в свердловинах Південнобортова-1, Іллічівська-2, Десантна-1, Каркінітська-1. Дебіти припливів коливалися від 0,24 до 90, а найбільший сягнув на самовиливі 664,3 м³/добу (св. Десантна-1).

З неокому-аптськими відкладами пов'язане Октябрьське нафтове та Тетянівське газоконденсатне родовища, припливи газу на Глібівській, Березівській, Бакальській та інших площах, розташованих в Рівнинному Криму. Продуктивність порід нижньоальбського і низів верхньоальбського під'ярусів встановлена на Західнооктябрьському, Тетянівському газоконденсатних родовищах. Крім описаних вище родовищ буріння глибоких свердловин проводилося на Борисівській, Серебрянській, Задорненській і інших площах, де в процесі розкриття і випробування нижньокрейдових відкладів спостерігалися чисельні нафтогазопрояви. Досить детально були охарактеризовані як води основного гідрогеохімічного фону, так і води, що утворюють гідрохімічні аномалії [11, 13]. Була встановлена наявність на родовищах суходолу специфічних слабо мінералізованих вод конденсаційної генези, генетично пов'язаних з Октябрьським нафтовим і Західнооктябрьським газоконденсатним родовищами [11]. Дослідження підземних вод палеоценового продуктивного горизонту (П-ХІ) дозволили нам вперше встановити наявність конденсаційних вод в акваторії на Голіцинському газоконденсатному родовищі [20, 22].

В межах шельфу Чорного моря підземні води нижньокрейдового комплексу випробувані на площах Голіцина-2 (3675–3683 м), Десантна-1 (2498–2552 м), Іллічівська-2 (2148–2244 м), Каркінітська-1 (3721–3880 м), Прадніпровська-1 (інт.2117–2150 м) (рис. 1).

Найкращими та найбільш витриманими колекторами є пісковики і алевроліти, які простежуються в підошві нижньокрейдового розрізу (базальні шари) та в нижній частині верхнього альбу. Породини-колектори (альбських) відкладів характеризуються відкритою пористістю 3–47%. Їх проникність становить $(0,1–302) \cdot 10^{-3}$ мкм² на бортах прогину та $(0,1–154) \cdot 10^{-3}$ мкм² у Північному Причорномор'ї, що свідчить про значну мінливість колекторських властивостей теригенних відкладів альбського яруса навіть на суміжних площах. Вулканогеннокластичні колектори малопористі (до 4%) і дуже слабкопроникні $(0,01–18) \cdot 10^{-3}$ мкм². Основними субрегіональними покривками у нижньокрейдовій товщі є глинисті утворення середнього альбу та верхньої частини верхньоальбського під'ярусу.

Води характеризуються загальною мінералізацією від 16 до 42 г/л, максимальною на Іллічівській площі, де належать до хлоридно-магнієвого типу і є слабо метаморфізованими ($r_{Na}/r_{Cl}=0,9$).

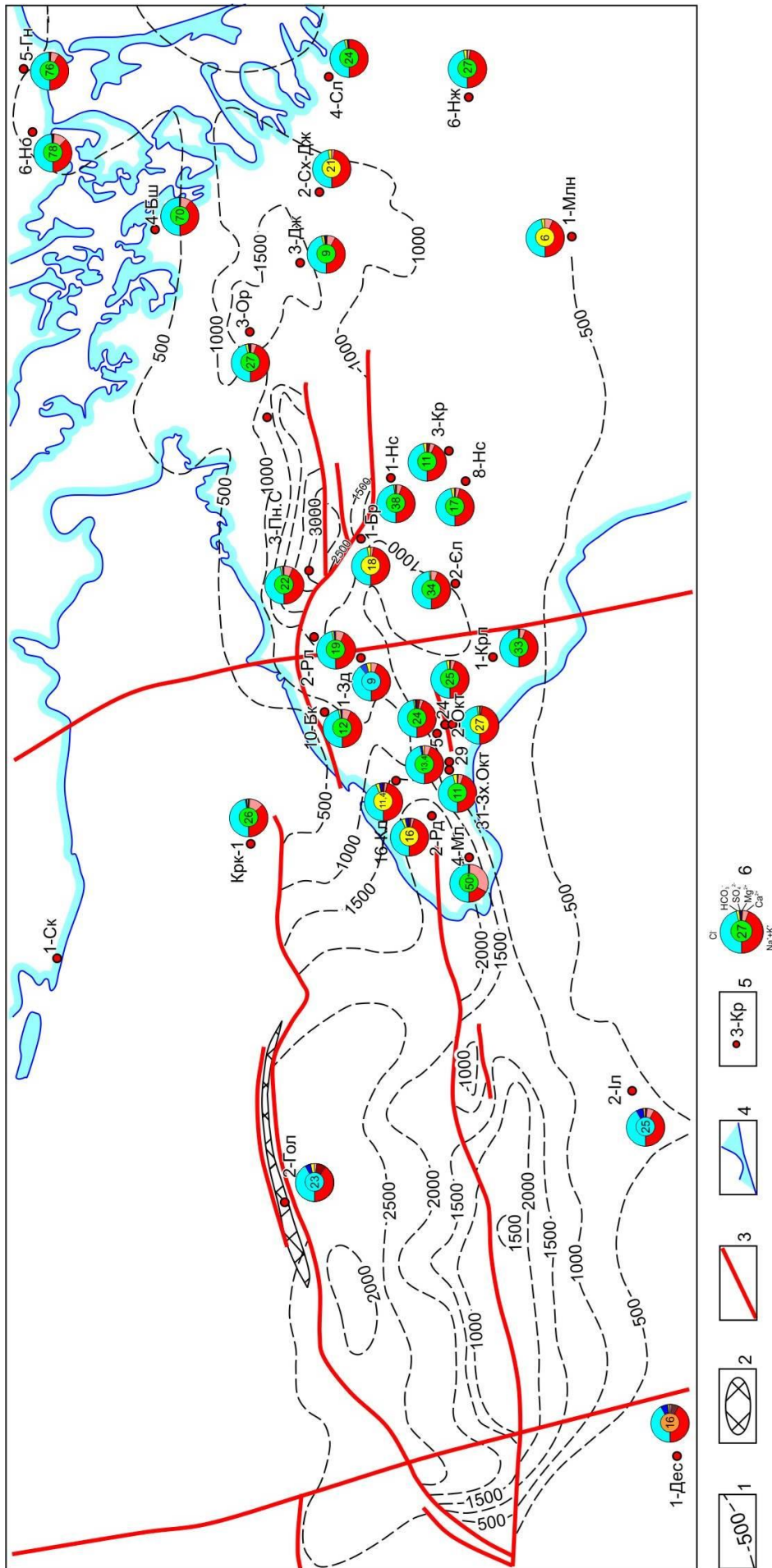


Рис. 1. Схематична гідрогеохімічна карта нижньокрейдових відкладів Каркінитсько-Північокримського прогину (Склава Колодій І. В., з використанням матеріалів [5], ізопакхті за даними Захарчука С. М.): 1 - ізопахті відкладів нижньокрейдового комплексу, м.; 2 - ділянки відсутності відкладів комплексу; 3 - основні диз'юнктивні дислокації; 4 - берегова лінія суходолу; 5 - точки спостережень і номер свердловини; 6 - макроконтинентний склад пластів вод нижньокрейдового комплексу: в центрі круга - значення мінералізації води, г/л; кольорами позначені типи вод за В. О. Суліним: синім - сульфатно-натрієві; зеленим - хлоркальцієві; жовтим - гідрокарбонатно-натрієві; оранжевим - хлормагнієві. Символами позначено геологокартувальні свердловини, площі й родовища: Крк - Каркінитська; Гол - Голіциньська; Пн.С - Західнооктябрська; Рд - Родніківська; Зд - Задорненська; Кл - Клепінська; Крл - Криловська; Дес - Десантна; Кр - Краснополянська; Окт - Октябрська; Мел - Мелова; Зх.Окт - Західнооктябрська; Рл - Рилівська; Пн.С - Північносерєбрянська; Бк - Бакальська; Кр - Красноволянська; Ор - Орловська; Дж - Джанкойська; Млн - Мельнична; Бш - Балашовська; Но - Новоолексійська; Гн - Генічеська; Сл - Слав'янська. Ниж - Нижньогірська; Ск - Скадовська

На Голіцинському родовищі води сульфатно-натрієвого типу з мінералізацією 23 г/л, $r\text{Na}/r\text{Cl} = 1,06$. Коефіцієнти сульфатності вод цих двох площ також різні: на Іллічівській – 11, на Голіцинській – 17,5. Вода, отримана на останній площі, має сульфатно-хлоридний магнієво-натрієвий склад і досить високі значення як відношень $r\text{Na}/r\text{Cl}$ і $r\text{SO}_4 \cdot 100/r\text{Cl}$, так і Cl/Br (1658).

При випробуванні нижньокрейдових відкладів на Прадніпровській площі отримали приплив пластової води дебітом 216 м³/добу (густина води 1052 кг/м³, розрахункова мінералізація ~71 г/л [6]).

Пластові води з вуглеводневими водорозчиненими газами отримані при випробуванні нижньокрейдового комплексу в акваторійній частині на Іллічівській (1,1–8,0 м³/добу), Південнобортівській (випробуваний разом з породами протерозою – 3,4 м³/добу), Каркінітській (4,45 м³/добу), Прадніпровській (до 264 м³/добу). У Криму на Меловій та Західнооктябрській площах газонасиченість вод становила 3211 та 2050 см³/л [5].

Нижньокрейдівий водоносний комплекс також широко випробуваний у межах Степового Криму та південної околиці Східноєвропейської платформи. Враховуючи результати, отримані на Чорноморському шельфі, доходимо висновку: цей водоносний комплекс містить води усіх чотирьох типів (за В. О. Суліним) з мінералізацією від 0,7 до 78 г/л.

Згідно [5, 11, 20, 22] в межах досліджуваної території в специфічних умовах, характерних для нафтових та газоконденсатних родовищ, поширені конденсаційні води, а також їх суміші з пластовими. Для таких вод властиві значення загальної мінералізації від десятків часток грама на літр до фонових значень і розмаїтий хімічний склад. До такого генетичного типу відносять підземні гідрокарбонатно-натрієві води з мінералізацією 0,7–11 г/л на Октябрському нафтовому, Західнооктябрському і Тетянівському газоконденсатних родовищах.

У поширенні пластових вод нижньокрейдового водоносного комплексу простежуються такі регіональні особливості:

1. Менш мінералізовані пластові води (1–8 г/л) поширені в районах неглибокого залягання нижньокрейдового водоносного комплексу (площі Миколаївська, Сакська, Мельнична та ін.). Далі на північний захід і на північ величина загальної мінералізації вод зростає: в межах площ Красновська, Новоселівська, Єлизаветинська, які знаходяться на Новоселівському піднятті – до 11–38 г/л, Нижньогірська – до 27 г/л.

2. Максимальні значення мінералізації пластових вод спостерігаються на схилі Українського щита (в основному 51–75 г/л) і в межах Сиваської западини (св. Балашівська-4 – 70 г/л, св.

Стрількова-9 – 43 г/л), причому для цих районів характерна певна одноманітність значень загальної мінералізації і типу вод (тільки хлоридно-кальцієві), особливо у порівнянні зі Степовим Кримом.

3. Вздовж лінії Голіцинська – Бакальська – Задорненська – Рилеєвська-Північносеребрянська – Березівська – Орловська площі спостерігається деяке зниження мінералізації вод до 9–27 г/л. Підземні води зазначеної частини Каркінітсько-Північнокримського прогину належать головно до хлоридно-кальцієвого типу (за винятком св. Голіцина-2, Задорненська-4 – сульфатно-натрієвий, і Березівська-1 – гідрокарбонатно-натрієвий типи).

4. Найрізноманітніші величини загальної мінералізації спостерігаються на півдні Тарханкутського півострова і на прилеглий частині шельфу Чорного моря. Тут також виявлені підземні води усіх чотирьох типів за В. О. Суліним: св. Десантна-2 – 16 г/л (води хлоридно-магнієвого типу); св. Іллічівська-2 – 25 г/л (сульфатно-натрієвого типу); св. Родниківська-2 – 16 г/л, св. Октябрська-2 – 27 г/л (гідрокарбонатно-натрієвого типу), св. Мелова-4 – 50 г/л (хлоридно-кальцієвого типу). Судячи з підвищеного вмісту кальцію, мінералізація вод Мелової площі дещо завищена внаслідок солянокислотних обробок призабійної зони свердловини.

5. Підземним водам ранньокрейдових, як і докрейдових утворень, отриманих на шельфі, характерні підвищені вмісти сульфатів і магнію.

Сульфатно-натрієві води базального і нижньокрейдового водоносного комплексу найімовірніше є давньоінфільтрогенними. про це свідчить зменшення в підземних водах цих комплексів значень показників метаморфізації $r\text{Ca}/r\text{Mg}$, $r(\text{Cl-Na})/r\text{Mg}$ і збільшення Cl/Br до понад 1000, пониженими вмістами J, Br. Такого складу води цієї зони могли сформуватися на передпізньокрейдовому інфільтраційному етапі розвитку водонапірного басейну, тому що вони просторово наближені до ймовірної області палеоінфільтрації.

Сучасна інфільтрація з боку суходолу метеогенних вод на глибини понад 2000–3000 м через гідродинамічні бар'єри елізійної природної водонапірної системи (ПВНС) неможлива, але вона могла реалізуватися на континентальних інфільтраційних етапах розвитку водонапірного басейну в передранньо- і передпізньокрейдівий час, про що свідчать тривалі континентальні умови, відзначені глибокою денудацією порід.

Основними процесами формування хімічного складу вод докрейдового і нижньокрейдового комплексів могли бути: вилуговання порід; змішування інфільтрогенних прісних чи солонуватих вод з таласогенними; змішування цих вод з водами високотемпературної дегідратації

глинистих порід з утворенням неінфільтрогенних сульфатно-натрієвих і гідрокарбонатно-натрієвих вод.

При зануренні порід в область температур понад 200°C дегідратація теригенних порід (юра, нижня крейда) викликала перехід у вільний стан доти міцно фізично і хімічно зв'язаних з породами (мінералами) літогенних вод [9]. При цьому зменшувався ступінь мінералізації вод, вони збагачувалися SO_4^{2-} , аж до утворення сульфатно-хлоридних натрієвих (сульфатно-натрієвих) вод. Відновлення SO_4^{2-} і утворення HCO_3^- супроводжувалося зменшенням відносних вмістів Ca^{2+} і Mg^{2+} та переходом води у гідрокарбонатно-натрієвий тип, чому сприяло відновне геохімічне середовище апт-альбського комплексу. На інфільтраційних етапах, головню в базальному горизонті і нижньокрейдовому водоносному комплексі, могли формуватися палеоінфільтрогенні води, які змішувалися з первинними седиментогенними, що супроводжувалося зменшенням мінералізації останніх і вмісту в них таласогенних мікрокомпонентів (J, Br, NH_4 , Li та ін.).

Геобаричні умови. Динаміці підземних вод нижньокрейдового комплексу рівнинного Криму присвячені праці [12, 13, 16, 21] та ін. Більша частина Криму, на думку багатьох дослідників зайнята елізійною природною водонапірною системою. Області створення напорів таких систем тяжіють до глибоких депресій, яким притаманні високі пластові тиски, низькі фільтраційні властивості порід. Це повністю відноситься до Каркінітсько-Північнокримського прогину.

Геобаричні умови вивчалися нами за розподілом коефіцієнтів гідростатичності $K_r = P_{\text{пл}}/P_{\text{уг}}$. Побудована схема їх розподілу для нижньокрейдового водоносного комплексу (рис. 2). В нижньокрейдовому водоносному комплексі виділяється північний п'єзомаксимум – Голіцинське підняття-Борисівська площа, де значення коефіцієнту гідростатичності 1,74 і 1,41–1,50 відповідно (рис. 2). На решті площ пластові тиски перевищують умовні гідростатичні в 1,04–1,06 рази. Спостерігається локальне зниження коефіцієнта гідростатичності на Джанкойській площі ($K_r=1,00$). На площах Генічеській, Балашівській, Новоолексіївській значення коефіцієнта гідростатичності у відкладах базального горизонту і нижньої крейди є практично постійними, 0,9–1,08, в інтервалі глибин 2170–2750 м.

Пласти з найбільшими значеннями K_r зосереджені по периферії Михайлівської депресії і Каркінітського блоку Північнокримського прогину, в зонах диз'юнктивних дислокацій (північний п'єзомаксимум). Центральна вісь максимальних тисків – від Голіцинського підняття ($K_r = 1,74$) до Борисівської площі ($K_r = 1,50$). На Голіцинському

піднятті на глибині 4380 м у відкладах нижньої крейди зафіксовано максимальне для району перевищення пластового тиску над умовно гідростатичним. П'єзометричний мінімум зберігається в районі Октябрського нафтового родовища – $K_r = 0,98$ –1,02. Південний п'єзомаксимум з центром на Новоселівській і Красновській площах ($K_r = 1,10$ –1,17). Високі значення коефіцієнтів гідростатичності, найвірогідніше, свідчать про наявність відносно ізольованих резервуарів з гідравлічними зв'язками із ділянками розрізу, що залягають вище (див. рис. 2).

Таким чином, геобаричні умови і фільтраційні параметри порід дозволяють припустити, що потоки вод елізійної водонапірної системи можуть рухатись із найзануреніших частин Каркінітсько-Північнокримського прогину в напрямку до його бортів. Розвантаження підземних вод здійснюється шляхом перетоків по зонах диз'юнктивних дислокацій у вищерозташовані комплекси (показано стрілками на рис. 2).

Гідрогеохімічні, газогідрогеохімічні ознаки нафтогазоносності. Одними з найбільш надійних показників нафтогазоносності є газогідрогеохімічні – за складом розчинених у підземних водах газів, та за тиском водорозчиненого газу $P_{\text{газ}} \cong P_{\text{пл}}$, або за відносною – приведеною до глибини залягання газонасиченістю пластових вод ($G \cdot 10^3/H \cong 1500$ –2000). Ці ознаки свідчать про наявність газового покладу, тому можуть бути віднесені до прямих ознак газонасиченості. З наближенням до покладу у складі розчинених газів збільшується концентрація вуглеводнів, зі зменшенням вмісту азоту підвищується газонасиченість вод. $K_{\text{пр}} = P_{\text{газ}}/P_{\text{пл}} \geq 0,75$ зустрічаються тільки на продуктивних структурах. Найчастіше на продуктивних структурах є $K_{\text{пр}} = 0,5$ –0,7, а на непродуктивних – від 0,3 до 0,5.

Звертає на себе увагу дуже висока газонасиченість складчастого ложа басейну на Голіцинській площі (загальна газонасиченість сягає 4090 $\text{см}^3/\text{л}$, відносна – 1062). Водорозчинені гази метанові, належать до жирних з $K_c < 50$.

На Іллічівській структурі газонасиченість вод низька – становить 154–700 $\text{см}^3/\text{л}$, відносна – 70–281.

Підвищені значення пружності водорозчинених газів відмічені на площах Меловій ($K_{\text{пр}}=0,52$), Березівській ($K_{\text{пр}}=1,05$), та ін. Газонасиченість пластових вод зростає в приконтурних водах покладів. Слід вважати перспективними райони, в яких $P_r/P_{\text{пл}}$ не менше 0,4.

Основними зонами нафтогазонагромадження є ділянки, що облямовують Каркінітську западину, що відбивається на складі ВРГ ($C_1 = 80$ –90, $C_{2+} = 9$ –16, азоту – 3–5 іноді 10–12 % об., так і на ступені газонасиченості вод ($P_r/P_{\text{пл}} > 0,5$).

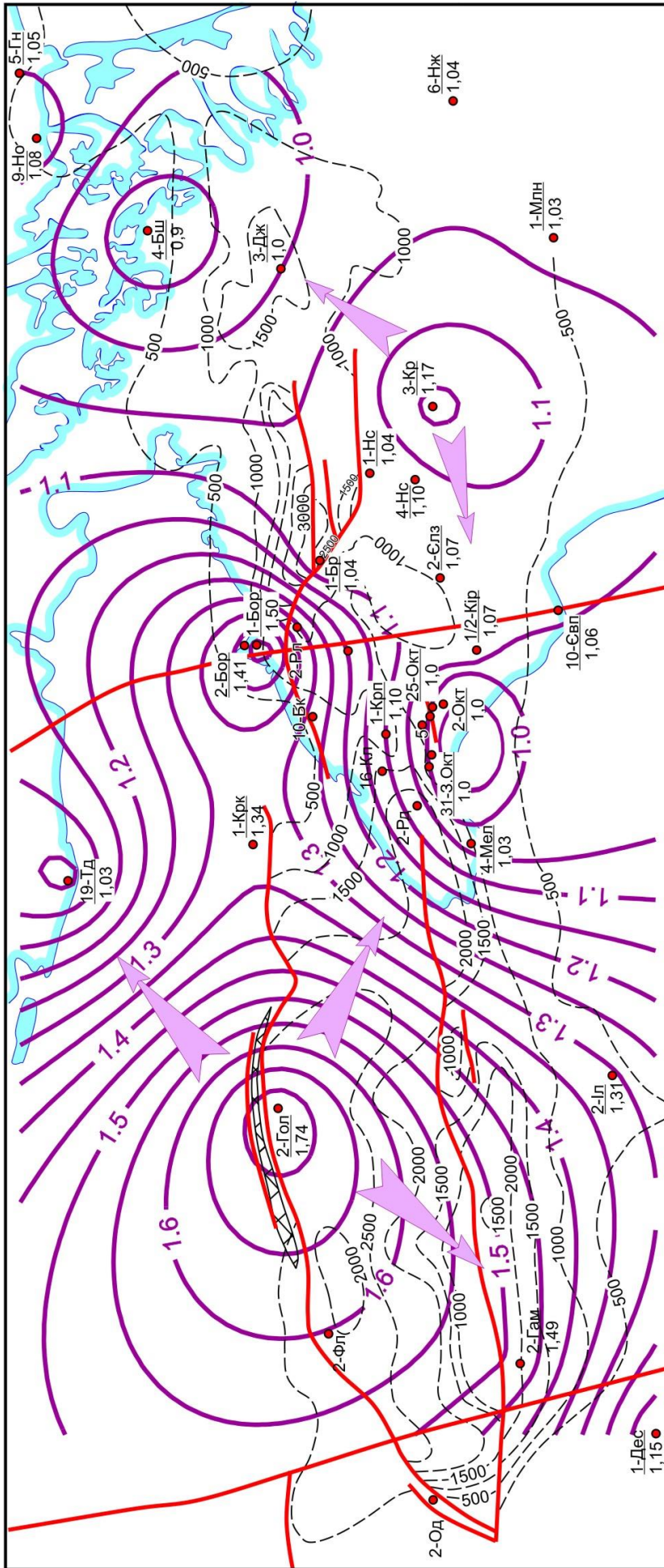


Рис. 2. Зміна коефіцієнта гідростатичності K_t по площі нижньокрейдового комплексу Каркінітсько-Північнокримського прогину (Склала Медвідь Г. Б., ізопахіти за даними Захарчука С. М.): 1 - ізопахіти відкладів нижньокрейдового комплексу, км.; 2 - ділянки відсутності відкладів комплексу; 3 - основні диз'юнктивні дислокації; 4 - точки спостережень: в чисельнику - номер і скорочена назва площі, в знаменнику - значення K_t ; 5 - берегова лінія суходолу; 6 - ізолінії значень коефіцієнта гідростатичності; 7 - ймовірний напрямок руху пластів вод нижньокрейдових відкладів. Символами позначено свердловини: Тд - Тендрівська; Крк - Каркінітська; Гол - Голцінська; Фл - Флангова; Од - Одеська; Гам - Гамбурцева; Дес - Десантна; Крп - Краснополянська; Окт - Октябрська; Мел - Мелова; Зах.Окт - Західнооктябрська; Рд - Родніківська; Кл - Клепіненська; Єлз - Єлизаветинська; Нс - Новоселівська; Бор - Борисівська; Бр - Березівська; Рл - Рилівська; Кр - Красновська; Іл - Ільїнська; Дж - Джанкойська; Бш - Балашовська; Но - Новосолівська; Гн - Генічеська; Свл - Сваторійська; Нж - Нижньогірська; Млн - Мельнична

Крім пружності водорозчинених газів, як прямі ознаки можуть бути використані прояви слабкомінералізованих конденсаційних вод та їх сумішей з пластовими. Зокрема на території Рівнинного Криму представляють інтерес нижньокрейдові (неоком) відклади Березівської площі, де фіксується гідрохімічна аномалія розвитку вод гідрокарбонатно-натрієвого типу з мінералізацією 17,6–18,8 г/л, газонасиченість вод складала 2133–4278 см³/л. За даними [11] це може бути ознакою наявності покладу.

Виходячи з комплексу газогідрогеохімічних показників слід звернути увагу на нижньокрейдові відклади в зоні Тарханкутсько-Джанкойського глибинного розлому, північний схил Михайлівської западини вздовж Голіцинського розлому (структури Південно-Західногліцина, Гордієвича, Східношмідтівська та ін.), та група підняття на схилі Східноєвропейської платформи – Тендрівське, Скадовське, Прадніпровське.

Висновки. Підземним водам нижньокрейдових відкладів шельфу характерні підвищені вмісти сульфатів і магнію. Сульфатно-натрієві води базального і нижньокрейдового водоносного комплексу найімовірніше є давньоінфільтрогенними. Про це свідчить зменшення в підземних водах цих комплексів значень показників метаморфізації rCa/rMg , $r(Cl-Na)/rMg$ і збільшення Cl/Br до понад 1000, пониженими вмістами J, Br. Такого складу води цієї зони могли сформуватися на передпізньокрейдовому інфільтраційному етапі розвитку водонапірного басейну, тому що вони просторово наближені до ймовірної області палеоінфільтрації.

На інфільтраційних етапах, головним чином в базальному горизонті і нижньокрейдовому водоносному комплексі, могли формуватися палеоінфільтрогенні води, які змішувалися з первинними седиментогенними, що супроводжувалося зменшенням мінералізації останніх і вмісту в них таласогенних мікрокомпонентів (J, Br, NH₄, Li

та ін.).

Сучасна інфільтрація з боку суходолу метеогенних вод на глибини понад 2000–3000 м через гідродинамічні бар'єри елізійної водонапірної системи неможлива, але вона могла реалізовуватись на континентальних інфільтраційних етапах розвитку водонапірного басейну у передранньо- і передпізньокрейдовий час, про що свідчать тривалі континентальні умови, відзначені глибокою денудацією порід.

Основними процесами формування хімічного складу вод докрейдового і нижньокрейдового комплексів могли бути: вилуговування порід; змішування інфільтрогенних прісних чи солонуватих вод з таласогенними; змішування цих вод з водами високотемпературної дегідратації глинистих порід з утворенням неінфільтрогенних сульфатно-натрієвих і гідрокарбонатно-натрієвих вод.

Геобаричні умови і фільтраційні параметри дозволяють припустити що потоки вод елізійної водонапірної системи можуть рухатись із найзапідприємливіших частин Каркінітсько-Північнокримського прогину в напрямку до його бортів. Розвантаження підземних вод здійснюється шляхом перетоків по зонах диз'юнктивних дислокацій у розташовані вище комплекси.

Крім пружності водорозчинених газів, як прямі ознаки можуть бути використані прояви слабкомінералізованих конденсаційних вод, що виявлені на сьогодні тільки в межах території суходолу Каркінітсько-Північнокримського прогину.

Визначені перспективні ділянки за гідрогеохімічними, гідрогеобаричними та газогідрогеохімічними показниками в нижньокрейдових відкладах у межах акваторії, а саме: зона Тарханкутсько-Джанкойського глибинного розлому, північний схил Михайлівської западини вздовж Голіцинського розлому та група підняття на схилі Східноєвропейської платформи.

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

Література

1. Альбов, С. В. *Гидрогеология Крыма [Текст] / С. В. Альбов.* – К.: Изд. АН УССР, 1956. – 73 с.
2. Альтовский, М. Е. *Гидрогеологические показатели нефтегазоносности [Текст] / М. Е. Альтовский.* – М.: Недра, 1967. – 122 с.
3. Лихоманова, И. Н. *Гидрохимические показатели нефтегазоносности Равнинного Крыма [Текст]: автореф. дис... канд. геол. - мин. наук: 04.00.17 / И. Н. Доленко.* – Ин-т геол. наук АН УССР. – Киев, 1967. – 21 с.
4. Доленко, И. Н. *О микроэлементах в подземных водах нефтегазоносных провинций Украины (на примере Предкарпатья и Крыма) [Текст] / И. Н. Доленко, В. П. Милославская // Гидрогеология нефтегазоносных провинций.* – К.: Наук.думка, 1982. – С. 112–120.
5. Штогрин, О. Д. *Геохимия подземных вод Степового Криму та її нафтогазопошукове значення [Текст] / О. Д. Штогрин, А. С. Тердовидов, С. В. Нечина С. В.* – К.: Наук. думка. – 1973. – 176 с.
6. Жабина, Н. *Нові дані про стратиграфію відкладів та гідрогеохімічні умови Прадніпровської площі (північно-західний шельф Чорного моря) [Текст] / Н. Жабина, О. Анікеєва, І. Колодій, Л. Мінтузова // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка.* – 2015. – № 70 (3). – С. 15–22.

7. Колодій, В. В. Гідрогеохімічна характеристика Північнопричорноморського водонапірного басейну [Текст] / В. В. Колодій, М. В. Лебединець, І. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – №2. – С. 54–67.
8. Колодій, І. В. Прогнозування локалізації вуглеводневих скопчень Причорноморського водонапірного басейну за гідрогеохімічними показниками [Текст] / І. В. Колодій // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – 2014. – № 1128. – С. 32–36.
9. Колодій, В. В. Подземные воды нефтегазоносных провинций и их роль в миграции и аккумуляции нефти [Текст] / В. В. Колодій. – К.: Наук. думка, 1983. – 246 с.
10. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря [Текст] / П. Ф. Гожик І. І. Чебаненко, М. І. Євдошук та ін. – Київ-Львів, 2007. – 232 с.
11. Колодій, В. В. Про походження гідрохімічних аномалій на Октябрському нафтовому та Західно-Октябрському газоконденсатному родовищах Криму [Текст] / В. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1971. – № 27. – С. 16–19.
12. Колодій, В. В. Геотермобарические условия и нефтегазоносность водонапорных бассейнов [Текст] / В. В. Колодій // Геология и геохимия горючих ископаемых. 1979. – №52. – С. 3–8.
13. Колодій, В. В. Природа водонапорных систем нижнемеловых отложений Крыма и западного Предкавказья [Текст] / В. В. Колодій, Т. П. Сиван // Известия АН СССР, серия геол. – 1980. – №8. – С. 124–132.
14. Колодій, В. В. Гидрогеологические свидетельства миграции нефти и газа и формирования их залежей [Текст] / В. В. Колодій, И. В. Колодій // Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии. Москва, ГЕОС, 2005. – С. 100–103.
15. Богаец, А. Т. Водоносные комплексы меловых и палеогеновых отложений Равнинного Крыма и Восточного Причерноморья в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности [Текст] / А. Т. Богаец, С. М. Захарчук, В. А. Куришко // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1969. – Вып. 21. – С. 42–51.
16. Тердовидов, А. С. Исследования водонапорной системы мезокайнозойских продуктивных горизонтов Степного Крыма в связи с вопросами формирования, разведки и разработки газовых залежей [Текст]: автореф. дис....канд. геол.-мин. наук: 04.00.17 / А. С. Тердовидов. – ВНИИГаз. – Москва, 1967. – 24 с.
17. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Геологія нижньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазононої області [Текст] / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, С. М. Захарчук та ін. – Львів-Київ, 2010. – 247 с.
18. Захарчук, С. М. Перспективы нефтегазоносности нижнемеловых отложений и пути повышения эффективности геолого-геофизических работ в Северном Крыму [Текст] / С. М. Захарчук, Р. В. Палинский // Перспективы развития геологоразведочных работ и прогноз открытия новых месторождений нефти и газа в УССР. Львов: УкрНИГРИ, 1989. – С. 74–84.
19. Мельничук, П. М. Особливості геологічної будови нижньокрейдових відкладів і перспективи їх освоєння в межах північно-західного шельфу Чорного моря [Текст] / П. М. Мельничук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 3 (8). – С. 87–96.
20. Колодій, І. В. Гідрогеологічні особливості Голицинського і Штормового газоконденсатних родовищ на північно-західному шельфі Чорного моря [Текст] / І. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 4. – С. 29–37.
21. Колодій, В. В. Геотермобаричні умови Північнопричорноморського водонапірного нафтогазононого басейну [Текст] / В. В. Колодій, М. В. Лебединець, І. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – № 1. – С. 72–82.
22. Колодій, І. В. Конденсаційні води Голицинського родовища (північно-західний шельф Чорного моря) [Текст] / І. В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 2 (103). – С. 36–41.
23. Lyubchac, O. V. Thermodynamic and hydrogeological conditions of forming the hydrocarbon deposits of the pre-black sea aquiferous basin [Текст] / O. V. Lyubchac, I. V. Kolodiy, Y. V. Khokha // Геодинаміка. – 2015. № 1 (18). – С. 22–31.

UDC 551.49:553.98(477.7)

Ivanna Kolodiy,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, 3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,

e-mail: ivannakolodiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6879-1051>;

Halyna Medvid,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,

e-mail: hamedvid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER CRETACEOUS TERRIGENOUS COMPLEX OF THE KARKINIT-NORTHERN CRIMEAN DEEP IN THE ASPECT OF ITS POTENTIAL FOR OIL AND GAS PRESENCE

Purpose. To substantiate the prospects for oil and gas presence in the Lower Cretaceous sediments of the Karkinit-Northern Crimean deep based on hydrogeological (hydrogeochemical, gas-hydrogeochemical and geobaric) features.

Methodology. Investigations of formation waters and water-dissolved gases were based on the methods of chemical, elementary spectral and gas chromatographic analyses executed at the laboratories of subsidiary joint-stock company "Chornomornaftogaz", subsidiary "Crimean Geology" and the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU. For the comparison of formation pressure we applied the hydrostatic coefficient (C_h). C_h is the ratio of measured formation pressure to conditionally hydrostatic at the depth of the measuring with $\gamma=1.000 (P_f/P_{ch})$, which eliminates the influence of uneven depths of measurement and different water densities, that is, to get the reduced value. For processing materials Excell, Corell Draw and Surfer are used.

Results. Regional features of formation waters in the Lower Cretaceous complex as well as their chemical composition formation conditions are established. According to retrospective data analysis on the Crimean Plains, using the information received on the Black Sea shelf, we come to a conclusion that formation waters of the Lower Cretaceous complex are mainly sedimentogenic.

The sulfate-sodium (S.Na) waters of the basal horizon and the Lower Cretaceous aquiferous complex most likely are infiltrative. This is evidenced by the decrease in the indicators of metamorphism of rCa/rMg , $r(Cl-Na)/rMg$ and the increase in Cl/Br to over 1000, the lowered content of iodine (I) and bromine (Br). Infiltrative (paleoinfiltrative) waters mixed with primary sedimentogenic waters. This was accompanied by the decrease in their mineralization and thalassogenic trace elements contents in them. Modern infiltration from the land of meteoric waters at depths of more than 2000–3000 meters through the hydrodynamic barriers of the elision water drive system is impossible, but it could be realized at the continental infiltration stages of the foreground development and before the late Cretaceous time. This is evidenced by the continuous continental conditions marked by denudation of rocks.

The main processes in the chemical composition formation of formation waters of Cretaceous and Lower Cretaceous complexes could have been: leaching rocks, mixing of infiltrative fresh or saline waters with thalassogenic waters; mixing of these waters with waters of the high temperature ($>200^{\circ}C$) dehydration of clay rocks with formation of non-infiltrative (S.Na) and (Hyd.Car.Na) waters.

Based on the analysis of the hydrostatic coefficient distribution (C_h) in the basal and Lower Cretaceous aquiferous complexes the existence of the elision water pressure system within the Karkinit-Northern Crimean deep is confirmed. The cause of overhydrostatic pressures is most likely to be the dehydration of clay rocks and the intrusion of deep gases.

Geobaric conditions and filtration parameters suggest that the water flows of the elision water pressure system can move from the deepest parts of the Karkinit-Northern Crimean deep towards its sides.

Originality and practical significance. The nature and forming conditions of formation waters have been substantiated. According to gas-hydrogeochemical and geobaric features it was possible to distinguish localities promising for hydrocarbon prospecting in the Lower Cretaceous deposits.

Keywords: Karkinit-Northern Crimean deep, Lower Cretaceous complex, formation waters, hydrogeochemical conditions, geobaric conditions, overhydrostatic pressures.

References

1. Al'bov, S. V. (1956). *Gidrogeologija Kryma [Hydrogeology of the Crimea]*. K.: Publishing house AS of the USSR, 73.
2. Al'tovskij, M. E. (1967). *Gidrogeologicheskie pokazateli neftegazonosnosti [The hydrogeological evidence of oil-and-gas bearing]*. Moscow, Nedra, 122.
3. Lihomanova, I. N. (1967). *Gidrohimicheskie pokazateli neftegazonosnosti Ravninnogo Kryma [Hydrochemical indices of oil and gas bearingness of the Crimean Plain]*. Institute of Geological Sciences, AS of Ukraine, Kiev, 21.
4. Dolenko, I. N., Miloslavskaja, V. P. (1982). *O mikrojelementah v podzemnyh vodah neftegazonosnyh provincij Ukrainy (na primere Predkarpat'ja i Kryma) [On trace elements in groundwater of oil and gas-bearing provinces of Ukraine (on the example of Precarpatia and Crimea)]*. *The hydrogeology of oil and gas provinces*. Kiev, Naukova Dumka, 112–120.
5. Shtohryn, O. D., Terdovydiv, A. S., Nyechyna, S.V. (1973). *Heoximiya pidzemnyx vod Stepovoho Krymu ta yiyi naftohazoposhukove znachennya [Geochemistry of the formation waters of the Steppe Crimea and their oil and gas significance]*. Kiev, Naukova dumka, 176.
6. Zhabyna, N., Anikheeva, O., Kolodij, I., Mintuzova, L. (2015). *Novi dani pro stratyografiyu vidkladiv ta hidroheoximichni umovy Prydniprovsk'koyi ploshhi (pivnichno-zaxidnyj shel'f Chornoho morya) [New data on the stratigraphy of deposits and hydrogeochemical conditions of near Dniiper Area (North-Western Part of the Black Sea shelf)]*. *Visnyk KNU im. Tarasa Shevchenka. Geology*, 70 (3), 15–22.

7. Kolodij, V. V., Lebedynets, M. V., Kolodij, I. V. (2000). *Hidroheoximichna xarakterystyka Pivnichnoprorychornomos"ko ho vodonapirnoho basejnu [Hydrogeochemical characteristics of North-Black-Sea water-drive basin]. Geology and geochemistry of Combustible minerals, 2, 54–67.*
8. Kolodij, I. V. (2014). *Prohnozuvannya lokalizaciji vuhlevodnyx skupchen" Prychornomos"ko ho vodonapirnoho basejnu za hidroheoximichnyx pokaznykamy [Expected localization of hydrocarbon deposits of the Black sea aquiferous basin based on hydrogeochemical indications]. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, 1128, 32–36.*
9. Kolodij, V. V. (1983). *Podzemnye vody neftegazonosnyx provincij i ih rol' v migracii i akumuljacii nefti [The formation waters of oil and gas provinces and their role in migration and accumulation of oil]. Naukova dumka, 246.*
10. Hozhyk, P. F., Chebanenko, I. I., Yevdoshuk, M. I., Krups'kyj, B. L., Hladun, V. V. (2007). *Naftohazoperspektyvni ob'yekty Ukrainy. Naukovi i praktychni osnovy poshukiv rodovyshh vuhlevodnyx u pivnichno-zaxidnomu shel'fi Chornoho moray [Oil and gas prospects objectives of Ukraine. Perspective for oil and gas. Scientific and practical bases of hydrocarbon fields prospecting in the North Western shelf of the Black Sea]. Kiev-Lviv, EKMO, 231.*
11. Kolodij, V. V. (1971). *Pro poxodzheniya hidroximichnyx anomalij na Oktyabrskomu ta Zaxidno-Oktyabrskomu hazokondensatnomu rodovyshhax Krymu [About the occurrence of hydrochemical anomalies in Oktyabr oil and Western Oktyabr gas-condensate fields of the Crimea]. Geology and geochemistry of Combustible minerals, 27, 16–19.*
12. Kolodij, V. V. (1979). *Geotermobaricheskie uslovija i neftegazonosnost' vodonapornyx bassejnov [Geothermobaric conditions and oil and gas capacity of the water drive basins]. Geology and geochemistry of Combustible minerals, 52, 3–8.*
13. Kolodij, V. V., Sivan, T. P. (1980). *Priroda vodonapornyx sistem nizhnemelovyx otlozhenij Kryma i zapadnogo Predkavkaz'ja [Nature of water drive systems of Lower Cretaceous sediments of the Crimea]. Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Geology, 8, 124–132.*
14. Kolodij, V. V., Kolodij, I. V. (2005). *Gidrogeologicheskie svidetel'stva migracii nefti i gaza i formirovanija ih zalezhej [Hydrogeological evidence of genesis, migration and formation of hydrocarbon fields]. Fundamental problems of oil and gas hydrogeology at the present stage. GEOS, Moscow, 100–103.*
15. Bogaec, A. T., Zaharchuk, S. M., Kurishko, V. A. (1969). *Vodonosnye komplekxy melovyx i paleogenovyx otlozhenij Ravninnogo Kryma i Vostochnogo Prichernomor'ja v svyazi s ocenкой perspektiv neftegazonosnosti [Aquiferous complexes of Cretaceous and Paleogen sediments of the plain Crimea and Eastern Black Sea Coast in connection with the assessment of the prospects for oil and gas bearingness]. Geology and geochemistry of Combustible minerals, 21, 42–51.*
16. Terdovidov, A.S. (1967). *Issledovanija vodonapornoj sistemy mezokajnozojskix produktivnyx gorizontov Stepnogo Kryma v svyazi s voprosami formirovanija, razvedki i razrabotki gazovyx zalezhej [Investigations of Mezo-Cenozoic productivity horizons of Steppe Crimea in connection with the issues of formation, exploration and development of gas deposits]. VNIIGaz, Moskva, 24.*
17. Hnidec, V. P., Hryhorchuk, K. G., Zaharchuk, S. M. (2010). *Naftohazoperspektyvni ob'yekty Ukrainy. Heolohiya nyzhn'oi krejdy Prychornomos"ko-Kryms"koji naftohazonosnoji oblasti [Oil and gas promising objects of Ukraine. Perspective for oil and gas. Lower Cretaceous geology of the Black Sea-Crimean Petroleum-Bearing Region]. EKMO, Kyiv-Lviv, 247.*
18. Zaharchuk, S. M., Palinskij, R. V. (1989). *Perspektivy neftegazonosnosti nizhnemelovyx otlozhenij i puti povyshenija jeffektivnosti geologo-geofizicheskix rabot v Severnom Krymu [Perspective for oil and gas of Lower Cretaceous sediments and the ways to improve efficiency of the geological and geophysical works in the Northern Crimea]. UkrSRGEI, Lvov, 74–84.*
19. Mel'nychuk, P. M. (2003). *Osoblyvosti heolohichnoji budovy nyzhn'okrejdovyx vidkladiv i perspektyvy yix osvoyennya v mezhax pivnichno-zaxidnoho shel'fu Chornoho morya [Peculiarities of the geological structure of the Lower Cretaceous sediments and perspectives of their development within the north-western shelf of the Black Sea]. Exploration and Development of Oil and Gas Fields. 3(8), 87–96.*
20. Kolodij, I. V. (2001). *Hidroheolohichni osoblyvosti Holycyns"ko ho i Shtormovoho hazokondensatnyx rodovyshh na pivnichno-zaxidnomu shel'fi Chornoho morya [Hydrogeological peculiarities of Golytsyno and Shtormove gas-condensate fields on the north-western shelf of the Black Sea]. Geology and geochemistry of combustible minerals, 4, 29–37.*
21. Kolodij, V. V., Lebedynets M. V., Kolodij, I. V. (2000). *Heotermobarichni umovy Pivnichnoprorychornomos"ko ho vodonapirnoho naftohazonosnoho basejnu [Geothermobaric conditions of the Northern Black sea aquiferous petroleum bearing basin]. Geology and geochemistry of combustible minerals, 1, 72–82.*
22. Kolodij, I. V. (1998). *Kondensacijni vody Holycyns"ko ho rodovyshha (pivnichno-zaxidnyj shel'f Chornoho morya) [Condensation waters of Golytsyno field (north-western shelf of the Black Sea)]. Geology and geochemistry of combustible minerals, 2 (103), 36–41.*
23. Lyubchac, O.V., Kolodij, I.V., Khokha, Y.V. (2015). *Thermodynamic and hydrogeological conditions of forming hydrocarbon deposits of the pre-Black sea aquiferous basin. Geodynamics, 1 (18), 22–31.*

УДК 551.217(477.54)

Володимир Георгійович Космачов,

к. г-м. н., доцент, кафедра геології, факультет ГПРТ,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: kosmachov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3365-5524>;

Марія Володимирівна Космачова,

к. геогр. н., доцент, кафедра геології, факультет ГПРТ,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
e-mail: kosmachovamv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5642-8709>

ЧЕТВЕРТИННИЙ ВУЛКАНІЧНИЙ ПОПІЛ ХАРКІВЩИНИ

В статті розглянуто поклади вулканічного попелу і розсіяне вулканічне скло в бузькому кліматоліті товщі неоплейстоценових лесоподібних суглинків Харківщини. В межах області поклади майже чистого вулканічного попелу відомі поблизу смт Краснокутськ, сіл Руські Тишки, Новоселівка Нововодолазького району, Левківка Ізюмського району, у м. Харків, а прояви вулканічного скла як домішки у суглинках поширені там, де відслонений бузький кліматоліт. Охарактеризовано їх геологічну будову, морфологію та гранулометрію часток вулканічного скла. Показана відповідність його хімічного складу трахітам. Розглянуто результати оптичного, електронномікроскопічного, рентгенівського, ІЧ-спектроскопічного вивчення. Зроблено висновок про його подібність до четвертинного попелу, відомого в інших місцезнаходженнях в межах попільного шлейфу виверження супервулкана Флегрейські поля поблизу Неполя, яке сталося близько 39,3 тисяч років тому, тобто з'ясовано походження вулканічного попелу регіону. Відмічається можливість використання лесоподібних суглинків з домішкою вулканічного скла як маркуючого горизонту при вивченні неоплейстоценову регіону і як часовий репер при археологічних дослідженнях палеоліту. Попіл розглянуто в якості важливого компонента геосайтів Харківщини. Підкреслюється необхідність їх охорони та доцільність використання у науковому туризмі і краєзнавстві. При цьому найкращим - найбільш інформативним в науково-освітньому плані є відслонення покладу вулканічного попелу поблизу с. Руські Тишки, якому треба невідкладно надати офіційний статус геосайта.

Ключові слова: вулканічне скло, поклади вулканічного попелу, петрографія вулканічного скла, геосайти.

В. Г. Космачев, М. В. Космачева. ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПЕПЕЛ ХАРЬКОВЩИНЫ. В статье рассмотрены залежи вулканического пепла и рассеянное вулканическое стекло в бугском климатолите толщи неоплейстоценовых лессовидных суглинков Харьковщины. В пределах области залежи почти чистого вулканического пепла известны вблизи пгт Краснокутск, сел Русские Тишки, Новоселовка Нововодолажского района, Левковка Изюмского района, в г. Харьков, а проявления вулканического стекла как примеси в суглинках приурочены к обнажениям бугского климатолита. Охарактеризовано их геологическое строение, морфология частиц вулканического стекла и гранулометрия пеплов. Показано соответствие химического состава вулканического стекла трахитам. Приведены результаты оптического, электронномикроскопического, рентгеновского, ИК-спектроскопического изучения. Сделан вывод о его сходстве с четвертичным пеплом, известным в других местонахождениях в пределах пеплового шлейфа извержения супервулкана Флегрейские поля близ Неполя, которое произошло около 39,3 тысяч лет тому назад, то-есть выяснено происхождение вулканического пепла региона. Отмечается возможность использования лессовидных суглинков с примесью вулканического стекла в качестве маркирующего горизонта при изучении неоплейстоцена региона и как временной репер при археологических исследованиях палеолита. Пепел является важным компонентом геосайтов Харьковщины. Подчеркивается необходимость их охраны и целесообразность использования в научном туризме и краеведении. При этом наиболее информативным в научно-образовательном плане является обнажение залежи вулканического пепла близ с. Русские Тишки, котрому необходимо безотлагательно придать официальный статус геосайта.

Ключевые слова: вулканическое стекло, вулканический пепел, залежи вулканического пепла, петрография вулканического стекла, геосайты.

Вступ. На Харківщині є поклади майже чистого вулканічного попелу, а також поширені лесоподібні суглинки з домішкою вулканічного скла. Вони належать верхній ланці неоплейстоцену, а саме бузькому кліматоліту [5, 6, 14] (в різних стратиграфічних схемах - ще горизонту, стадіалу). Бузькі лесоподібні суглинки формувалися в ході останнього - вюрмського (на Східно-Європейській платформі - валдайського) зледеніння, яке в нашій місцевості супроводжувалося розвитком багатолітньої мерзлоти [15]. Попільні поклади знаходяться приблизно в середній частині кліматоліту, а розсіяне вулканічне скло - ще і у верхній його частині. Домішка вулканічного скла у суглинках встановлюється у кількості перших процентів. Ці суглинки дуже поширені в регіоні.

Потужність бузького кліматоліту на Харківщині становить 2,5-3,5 м, середня - 2,85 м [15].

Приводом для розглядання проявів четвертинного вулканічного попелу регіону з'явилося опубліковане помилкове твердження про те, що в ньому є лише одне - Левківське - його місцезнаходження [2, с. 259], хоча матеріали про вулканічний попіл нашої місцевості неодноразово публікувалися, починаючи з 1959 р., а об'єкт біля с. Руські Тишки навіть розглядався у довіднику про геологічні пам'ятки України [12].

Звертання до цього питання є доцільним також в силу того, що такі прояви мають велике науково-пізнавальне значення, завдяки чому являються цінними компонентами геосайтів [8]. Інтерес до них на Харківщині ще пояснюється її

великою віддаленістю від центрів вивержень і, таким чином, екзотичним характером цих об'єктів.

Актуальність. За останні роки здобута нова інформація про вулканічний попіл в нашому регіоні, яка дозволяє по-новому розглядати і вирішувати питання його походження.

Аналіз попередніх робіт. Історія виявлення четвертинного вулканічного попелу в розташованих неподалік Харківщини регіонах до 1957 р. розглянута в публікації [4]. В цій і в інших статтях [9-11, 17, 18] велика увага приділялася опису форми і розмірів частинок вулканічного скла, його оптичним характеристикам, будові покладів попелу, умовам їх залягання і розташування в товщі четвертинних відкладів, а також з'ясуванню віку і джерел попелу. В деяких з них міститься інформація про хімічний склад вулканічного скла.

Першою публікацією, присвяченою попелу нашої області (Краснокутське місцезнаходження), була стаття [16]. Потім з'явилися відомості про попіл, знайдений у Харкові поблизу Малого Журавлівського узвозу [14]. В подальшому проводилися більш систематичні дослідження [5, 6]. Особливо відзначимо досягнення І. М. Ремізова, який, зокрема, виявив найкращий в регіоні поклад поблизу с. Руські Тишки. У вказаних статтях були стисло розглянуті також прояви попелу в Сумській, Кіровоградській, Дніпропетровській, Луганській і Донецькій областях. У 1998 р. були опубліковані дані про Донецьке місцезнаходження вулканічного скла [7], у 2011 р. з'явилася інформація про поклад вулканічного попелу біля с. Левківка на Ізюмщині [2].

В цих публікаціях міститься докладна інформація про геологічну будову покладів попелу, проте майже відсутня його мінералогічна характеристика і не було остаточно з'ясовано звідки він надійшов до Харківщини.

Виклад основного матеріалу.

В нашому регіоні відомі такі поклади вулканічного попелу.

Поклад поблизу с. Руські Тишки (Харківський район)

Координати - 50° 09' 00" півн. ш., 36° 23' 33" сх. д. Знаходиться у 22 км на північ від м. Харків на північно-західній околиці села в ярі Крутий Лог.

Геологічний розріз, який було чудово відкрито в цьому ярі у 1960-70 рр. минулого століття, в теперішній час значно перекритий делювієм, але лінзу попелу товщиною до 0,4 м можна добре спостерігати на протязі майже 6 м. Вона залягає в лесоподібному суглинку на глибині близько 3 м від поверхні. Цей поклад на 99,9% складається вулканічним склом і має найбільшу потужність серед інших таких об'єктів в регіоні.

Поклад поблизу с. Новоселівка (Нововодолазький район)

У 60-ті роки минулого століття у кар'єрі родовища олігоценівих скляних пісків в суглинках їх покрівлі на глибині 3-5 м від поверхні спостерігався лінзоподібний прошарок попелу товщиною до 0,08 м і протяжністю декілька м.

Поклад в селищі Краснокутськ

Вулканічний попіл був виявлений в ході геологічної зйомки у 1957 р. в правому борті Китчиного яру посеред жовто-бурих суглинків, коли на глибині 3,2-3,9 м зустріли лінзу ясно-сірого з буруватим відтінком попелу товщиною до 0,25 м і протяжністю біля 30 м. В цьому покладі вміст вулканічного скла сягає 99,3%.

Поклад в м. Харків

поблизу Малого Журавлівського узвозу

Координати - 50° 00' 15" півн. ш., 36° 15' 33" сх. д. У 1951 р. в лівому борті яра, що у 40 м на південь від сходів узвозу, на глибині 5,4 м у суглинках була виявлена лінза ясно-сірого вулканічного попелу довжиною 12 м з найбільшою товщиною 0,13 м. Поклад більш ніж на 90% складається вулканічним склом. На жаль, в теперішній час це відслонення, що являло великий науковий інтерес і було важливим об'єктом низки геологічних і географічних екскурсій, повністю завалено будівельними відходами.

Поклад поблизу с. Левківка

(Ізюмський район)

Координати - 49° 16' 36" півн. ш., 37° 09' 26" сх. д. Знаходиться у верхів'ї яру, що є лівим припливом балки Солонецький Яр в її середній частині. Тут на глибині біля 2 м залягає прошарок попелу 0,1 м завтовшки, в якому, як і в інших покладах, переважна кількість уламків вулканічного скла має розмір 0,005-0,10 мм.

Поклад поблизу с. Донецьке

(Ізюмський район)

Координати - 49° 08' 36" півн. ш., 37° 14' 10" сх. д. Поклад розташований у 5 км на захід від м. Ізюм уверх за течією р. Сіверський Донець, біля західної околиці села. Відслонення знаходиться у східній гілці великого яру, у 0,5 км від його устя в крутому правому борті на глибині 2-3 м. Поклад неправильно-лінзоподібної форми має товщину до 0,4 м і протяжність майже 10 м. Він складається суглинком, що містить уламки вулканічного скла в кількості близько 25%. Розміри більшої частини цих уламків лежать в межах 0,005-0,10 мм, витягнуті зерна сягають 0,20-0,30 мм у довжину при ширині 0,08-0,15 мм. Особливість цього прояву полягає в тому, що тут лінзоподібний поклад попелу було порушено давнім зсувом або мерзлотними деформаціями, притаманними бузькому кліматоліту [15]. Це зумовило його неправильну форму і змішування вулканічного попелу з матеріалом вміщуючих суглинків. При цьому частин-

ки вулканічного скла переважно зберегли гострокутову форму (рис. 1).

Усі зазначені поклади вулканічного попелу мають спільні риси, а саме: **1** - розташовані у бужькому кліматоліті верхньої частини товщі неоплейстоценових лесоподібних суглинків на глибині перших м; **2** - за формою вони лінзоподібні з товщиною до 0,4 м (частіше близько 0,1 м);

3 - мають чітку нижню межу і поступовий перехід в покриваючі суглинки; **4** - покладам властива переважно текстурна однорідність; **5** - колір попелу ясно-сірий, іноді з жовтуватим або коричневим відтінком; **6** - у покладах більш 90% частинок мають розмір 0,005-0,10 мм; **7** - поклади є схожими за типами уламків скла (рис. 1).



Рис. 1. Вид частинки вулканічного скла з покладів попелу під мікроскопом. Вгорі – попіл з Руських Тишків, посередині – з Левківки, внизу – з Донецького (розмір найкрупніших частинок близько 0,10 мм)

Морфологічна різноманітність частинок попелу визначається типом поверхні (гладка, скульптурна - гофрирована, з повздовжніми рівними валами або штрихами, кавернами), їх різною формою (частинки ізометричних, витягнутих і химерних обрисів, звичайно пластинчасті, а також менш поширені об'ємні брускоподібні і неправильні) і характером краю зерен (прямий, угнутий, вигнутий рівний чи вищерблений). Ознаки обкатування відсутні, що свідчить про їх повітряне

перенесення від центру ерупції і швидкого поховання після випадіння. Суттєво переважають частинки прозорого скла у вигляді тонких (близько 0,004 мм завтовшки) кутастих пластинок з гладкою поверхнею і рівними прямими і закругленими краями.

Встановлені під оптичним мікроскопом морфологічні ознаки вулканічного попелу покладів Харківщини підтверджуються електронно-мікроскопічним дослідженням (рис. 2). Воно свідчить

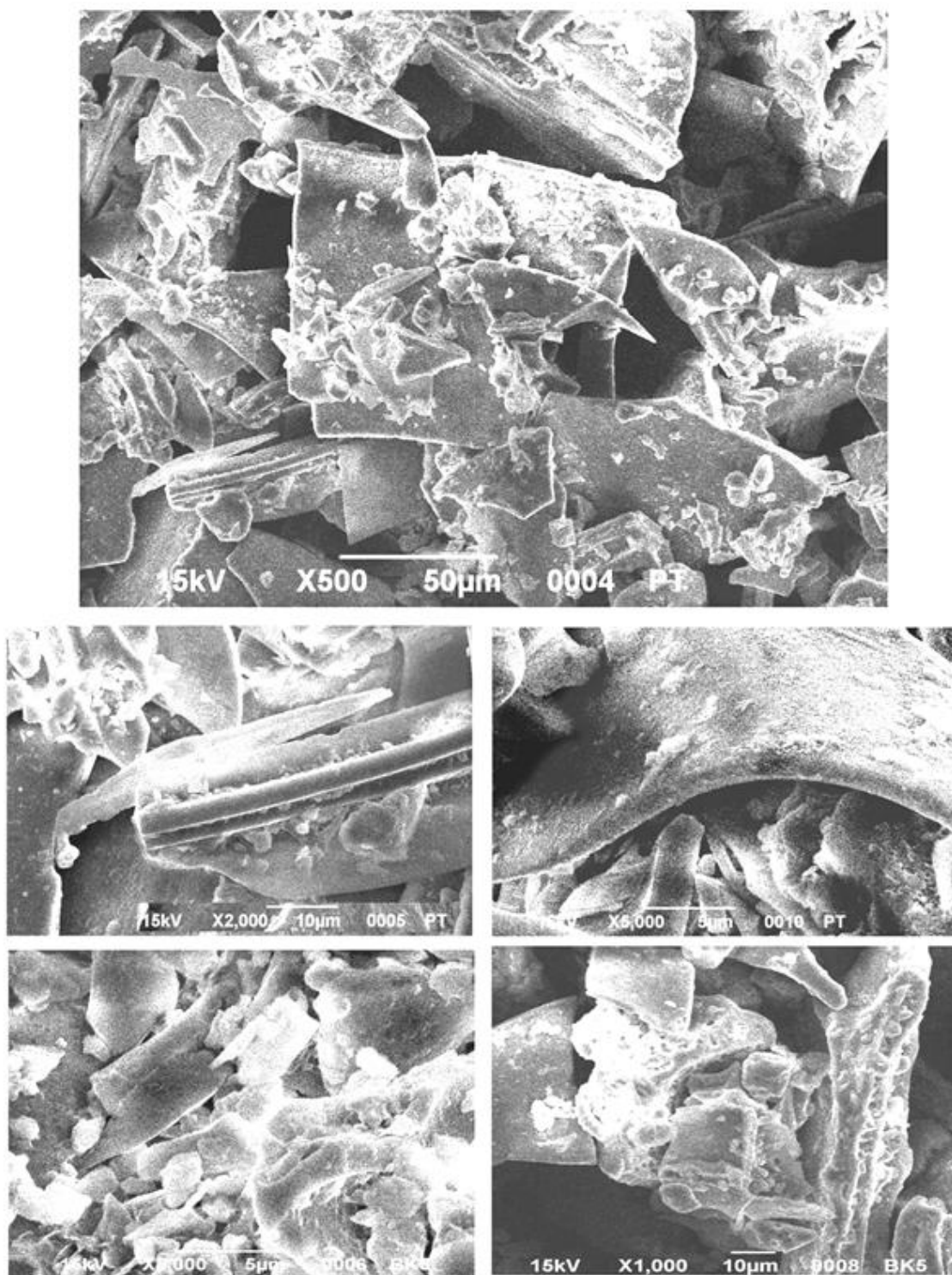


Рис. 2. Електронні фотографії вулканічного попелу. Вгорі і посередині – попіл з покладу Руських Тишків, внизу – Левківки (скануючий мікроскоп JSM 6390 LV фірми JEOL, Японія)

також про його певну відмінність від попелу проявів, розташованих ближче до центру ерупції, в яких частинки попелу здебільшого мають більш об'ємну форму, утворену зростаннями переважно пластинчастих елементів [25]. Такі уламки вулканічного скла менш доступні далекому перенесенню на відміну від тонких дрібних пластинок, які і спостерігаються у нашому регіоні.

Зразки *лесоподібних суглинків з домішкою вулканічного скла* нами були відібрані в таких пунктах Харківщини: м. Харків - вул. Сумська поблизу входу у міський парк, на Дальній Журавлівці, у Саржиному ярі, на території зоопарку; на північ від Харкова у верхів'ї р. Рогозянка; в кар'єрі Новоселівського родовища скляних

пісків; поблизу м. Ізюм - в кар'єрі Кам'янського цегляного заводу і на східній околиці с. Кам'янка.

Частинки вулканічного скла, розсіяні у суглинках, теж пластинчасті, але на відміну від гострокутних уламків з покладів, їх форма звичайно дещо закруглена, частинки попелу з гострими кутами зустрічаються не дуже часто. Це свідчить про те, що після випадіння, при утворенні шарів суглинків вони зазнавали транспортування, яке призвело до їх помітного обкатування. Розмірність уламків та ж сама, що і в покладах попелу.

Гранулометрична характеристика попелу приведена у табл. 1.

Для наочності результатів гранулометричного аналізу за даними табл. 1 побудовані гістограми, криві розподілення і кумуляти (рис. 3-5).

Таблиця 1

Гранулометрія вулканічного попелу покладів на Харківщині (за [5])

| Прояви | Фракції, мм. Вміст фракцій, % | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|---------|
| | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,10 | 0,10-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | 0,005-0,001 | < 0,001 |
| 1. Харків | - | 0,64 | 18,82 | 32,84 | 41,94 | 4,89 | 0,87 | |
| 2. Руські Тишки | - | 0,01 | 0,72 | 24,97 | 50,98 | 20,44 | 1,56 | 1,32 |
| 3. Краснокутськ | 0,01 | 0,03 | 1,25 | 31,42 | 44,47 | 18,32 | 2,73 | 1,79 |
| 4. Новоселівка | 0,02 | 0,30 | 3,65 | 46,97 | 29,47 | 16,62 | 1,10 | 1,88 |

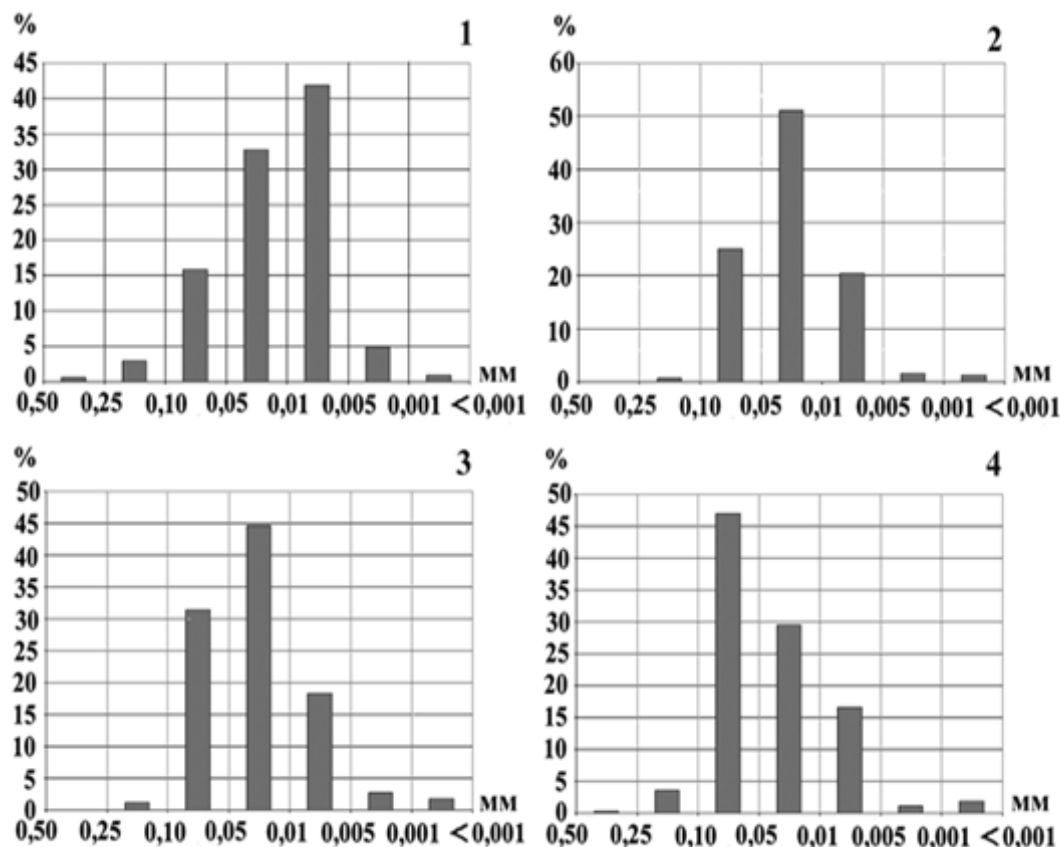


Рис. 3. Гістограми розподілення попелу за розміром уламків вулканічного скла. Поклади: 1 - Харків, 2 - Руські Тишки, 3 - Краснокутськ, 4 - Новоселівка

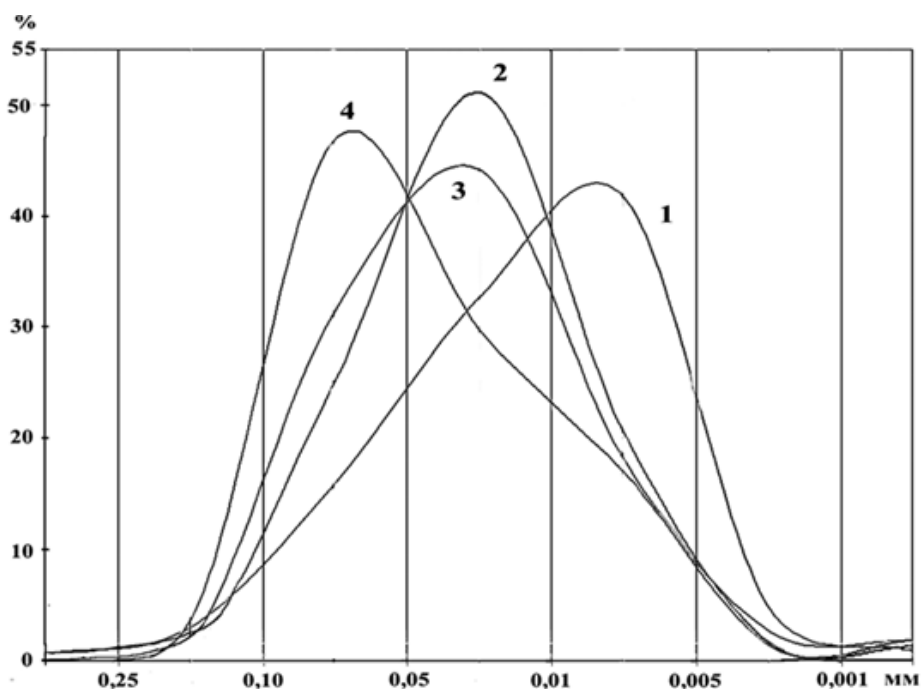


Рис. 4. Криві розподілу попелу за розміром уламків вулканічного скла.
1-4 – поклади попелу, див. рис 3

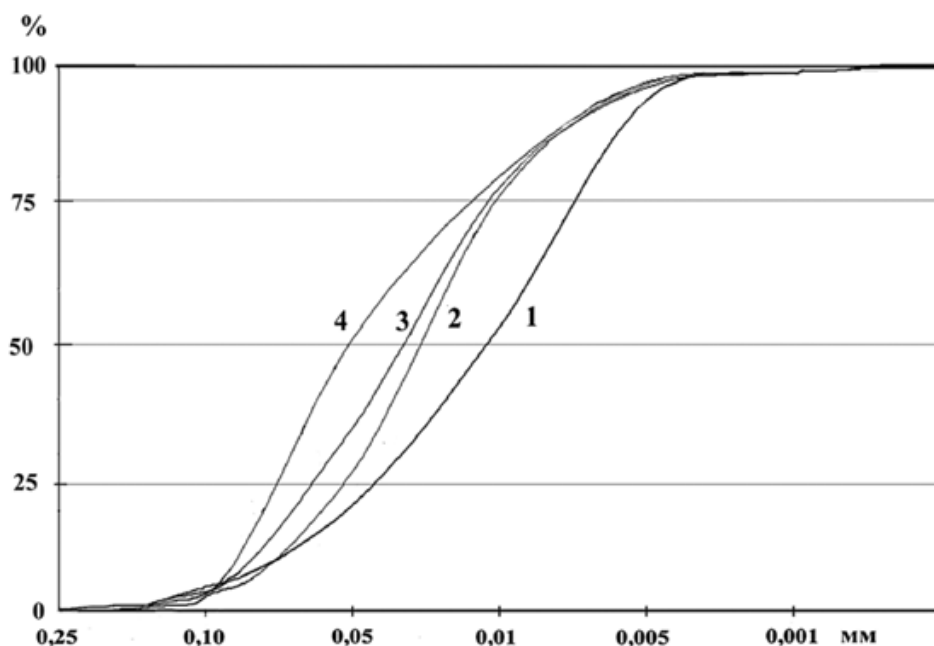


Рис. 5. Кумулятивні криві розподілу попелу за розміром уламків вулканічного скла.
1-4 – поклади попелу, див. рис 3

За цими даними визначені такі статистичні характеристики розподілення попелу за розміром частинок вулканічного скла: медіана M_e , мода M_o і коефіцієнт сортування S_o , знайдений за кумулятою як відношення першої і третьої кватилей (табл. 2). Вони дозволяють розглядати попіл Харківщини як переважно погано сортований алеврит (розміри уламків вулканічного скла, головним чином, знаходяться в інтервалі 0,005-0,10 мм, що відповідає розмірності алевриту і дрібного пилу).

Модальні значення відбивають більшу роль крупних фракцій в попелі з Новоселівки і тонких часток – з Харкова. Це, скоріше за все, зумовлено роботою вітру при переміщенні частинок попелу у місця поховання у вітровому затінку, при чому найбільш тонкі фракції зазнають видування. Таким чином відбувається диференціація попільного матеріалу безпосередньо при формуванні покладу: попіл, принесений в місце поховання здалеку, стає більш грубим. Можливо, саме цим зу-

Статистичні характеристики розподілення попелу з покладів Харківщини

| Прояви попелу | Характеристики | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|
| | M_e | M_o | S_o |
| 1. Харків | 0,013 | 0,008 | 5,9 |
| 2. Руські Тишки | 0,030 | 0,030 | 5,3 |
| 3. Краснокутськ | 0,033 | 0,034 | 5,0 |
| 4. Новоселівка | 0,050 | 0,070 | 4,2 |

мовлений майже вдвічі більший вміст частинок крупніших за 0,08 мм у верхній частині покладу у с. Руські Тишки (близько 17%) ніж поблизу його підшови (9%).

Дослідження в оптичному мікроскопі свідчить, що вулканічне скло є безбарвним та ізотропним. За даними імерсійного аналізу воно має показник світлозаломлення 1,517, що відповідає вулканічному склу трахітового складу. В ході роботи показники імерсійної рідини стандартного набору перевірялися на рефрактометрі ІРФ-22, використовувався метод хроматичної варіації з використанням світлофільтрів з вузькими інтервалами пропускання і вводилися поправки на температуру. Зазначимо, що попел з близьких до Харківщини проявів має таке ж значення світлозаломлення [5, 6, 17, 18].

Рентгенометричне дослідження порошкових проб проводилося на дифрактометрі ДРОН-3

з виведенням даних на ЕВМ завдяки програмного комплексу для зображення дифрактограм і одержання рентгенівських характеристик. Використовувалося випромінювання $Fe_{K\alpha}$ з Mn β -фільтром в інтервалі кутів 2θ 7-80° при силі току 20 mA з напругою 30 kV. Швидкість руху лічильника - 2°/хв, кутові відсічки через 2°.

На рис. 6 показані фрагменти дифрактограм в області кутів 2θ 7-60° вулканічного попелу з с. Руські Тишки і для порівняння - добре відомого чорного обсидіану родовища Артені, Вірменія. Ці рентгенограми дуже схожі і являють собою пологі криві, що є типовими для скла, тобто аморфної речовини. Звертає на себе увагу дуже слабке підняття фону при кутах 2θ 23-35°, яке, можливо, фіксує наявність у склі неупорядкованих структурних груп SiO_4 .

Інфрачервоні спектри поглинання (рис. 7) одержані в інтервалі частот 4000-400 cm^{-1} на спек-

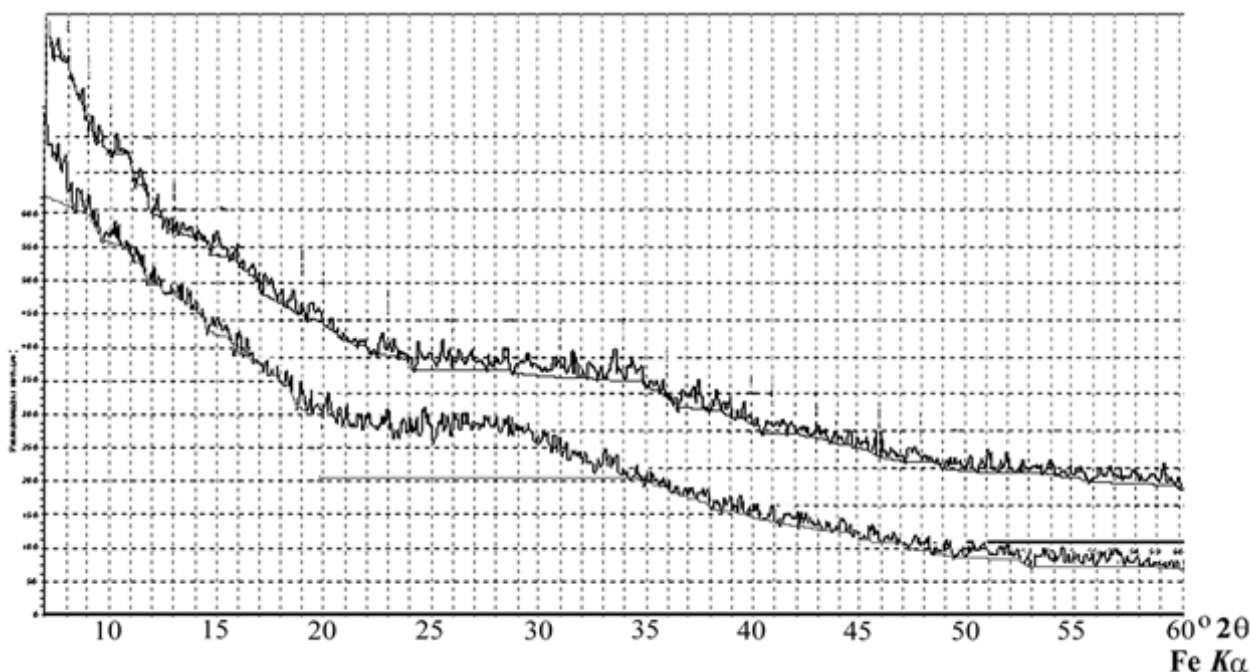


Рис. 6. Дифрактограми попелу з покладу Руських Тишків (вгорі) та обсидіану родовища Артені

трометрі "ALPHA" с приставкою "ALPHA-T" і використанням програмного комплексу OPUS. Препарати готувалися пресуванням порошків досліджуваних зразків під тиском 8-8,5 Мпа з додаванням KBr.

Смуги поглинання в області 3500-1350 cm^{-1} , певне, зумовлені наявністю в зразках молекул води, гідроксильних груп, або іонів гідроксонію [13]. Смуги з частотами менш 1100 cm^{-1} можуть бути зумовленими як деформаційними коливани-

нями гідроксильних груп, так і силікатними компонентами скла (іонними групами SiO_4 , їх кільцями і т. ін.). Це узгоджується з уявленнями про скло як неоднорідну трьохмірну структуру,

складену переважно кремнекисневимим тетраедрами з неупорядкованими і упорядкованими групами атомів [3 та ін.].

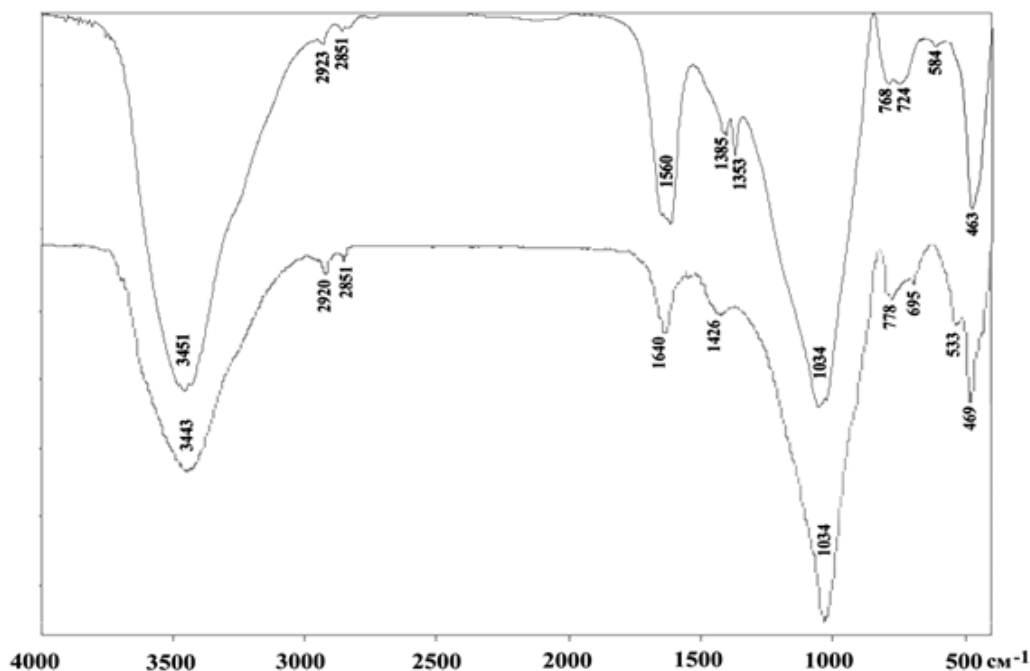


Рис. 7. ІЧ-спектри зразків попелу з покладів Руських Тишків (вгорі) і Левківки

Хімічне дослідження вулканічного попелу є дуже важливим для встановлення його витоків. Дані про хімічний склад попелу Харківщини (табл. 3) подано за публікацією [5]. За 7 аналізами однотипного попелу з покладів Харкова, Краснокутська і Руських Тишків (ваговий метод, %) його середній склад є таким: SiO_2 - 58,88, Al_2O_3 - 18,79, Fe_2O_3 - 2,55, FeO - 1,33, MnO - 0,21, MgO - 0,55, CaO - 2,53, Na_2O - 5,03, K_2O - 6,30, втрата при прожарюванні - 4,15. Виходячи з цього, сума лугів - $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ - складає 11,33%, відношення Na_2O до K_2O - 0,80, а $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до Al_2O_3 - 0,60. За цими показниками можна вважати, що вулканічний попел Харківщини відповідає складу середніх порід сублужного ряду - трахітам К-На серії [1] і близький до середніх лужних порід, зокрема італітів неаполітанської провінції і відомих там кампанських ігнімбритів [28]).

В усіх публікаціях про знахідки вулканічного попелу на Харківщині обговорювалися вірогідні області вулканізму, з яких попел було занесено у наш регіон. При цьому дослідники виходили, головним чином, з уявлень про найближче розташування цих областей. Найчастіше називали вулкани Головного Кавказького хребта, Закавказзя, Малої Азії, в деяких публікаціях - також Егейського моря, Італії і Франції [4-6, 16 та ін.].

Зрозуміло, що при вирішенні цього питання слід виходити одночасно з *хімічного складу вулканітів, ступеня експлозивності вивержень та їх*

віку. Тобто це повинен бути вулкан з трахітовим складом вулканітів і дуже потужним вибуховим характером виверження, що відбувалося у пізньому неоплейстоцені. За цими ознаками досліджуваний нами попел відповідає супервулкану Флегрейські поля [20, 21, 23]. Це узгоджується з уявленнями про походження розташованих на схід від нашого регіону проявів вулканічного попелу Воронезької області [11].

Як відомо, Флегрейські поля знаходяться в регіоні Кампанія, провінції Неаполь, на північний захід від м. Неаполь, і включають його околиці [20, 21 та ін.]. В центрі структури розташовано м. Поццуолі. Ця місцевість ще у 70-80-х роках минулого століття розглядалася в якості великої пам'ятки природи лише тому, що тут на відносно невеликій площі містяться 24 вулканічні кратери та споруди (в тому числі наймолодший вулкан в Європі - Монте Нуово, що виник у 1538 р.) і проявлена активна сольфатарна діяльність [19]. З часом виявилось найважливіше - саме те, що Флегрейські поля являють собою кальдеру супервулкану, найбільш катастрофічне виверження якого (з утворенням кампанських ігнімбритів) відбулося у пізньому неоплейстоцені - $39,28 \pm 0,11$ тис. р. тому [20-28 та ін.].

Вік попелу харківських місцезнаходжень не суперечить вказаній даті оскільки попел залягає у верхній частині неоплейстоцену. Для уточнення його віку було використано дослідження кола-

геновим методом кісткових залишків, що містяться в відслоненнях суглинків поблизу покладів попелу (залишки зубра у Харкові та коня у Краснокутську). Вони вивчалися І. Г. Підопличком, який розробив цей метод визначення геологічного віку викопних кісток четвертинної системи, в лабораторії палеозоології АН УРСР. І хоча одержані результати були неоднозначними, їх було інтерпретовано як пізній плейстоцен [6].

Відомо, що попільний шлейф зазначеного виверження має протяжність більш 2200 км і витягнутий у північно-східному напрямі - про це свідчать знахідки попелу в Греції, Албанії, Чорногорії, Болгарії, Румунії, Молдові, Росії [11, 22-25,

27]. Вважають, що товщина шлейфу на відносно невеликій відстані від Флегрейських полів (Балкани, Адріатичне море) в середньому складала 5-10 см, зменшуючись до 2-5 см і менше на більшій від них відстані (послідовно від Румунії до Воронежської області Росії) [22, 23]. Проте, мабуть, шару з постійною товщиною не виникало, тому що вулканічне скло після випадіння ще переносилося вітром у локальні понижені ділянки місцевості, де і формувалися його поклади. Порівняння попелу деяких вказаних місцезнаходжень з відповідними об'єктами Харківщини свідчить про їх подібність (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Хімічний склад вулканічного попелу флегрейського шлейфу
(в аналізі попелу Воронежської області вміст Na_2O , мабуть, є дещо заниженим)

| Місцезнаходження попелу | Хімічний склад вулканічного попелу, ваг. % | | | | | | | Тип вулканітів |
|-------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Na_2O | K_2O | $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ | $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) : \text{Al}_2\text{O}_3$ | |
| Воронежська область | 59,12 | 18,22 | 3,85 | 6,35 | 10,20 | 0,61 | 0,56 | Трахіт [9] |
| Харківщина | 58,88 | 18,79 | 5,03 | 6,30 | 11,33 | 0,80 | 0,60 | Трахіт [5] |
| Румунія, Urluia Quarry | 59,35 | 18,54 | 5,66 | 7,31 | 12,97 | 0,77 | 0,70 | Трахіт, фаноліт [23] |
| Флегреські поля | 61,40 | 18,22 | 6,14 | 7,30 | 13,53 | 0,85 | 0,71 | Трахіт, фаноліт [28] |

Таблиця 4

Характеристика деяких покладів вулканічного попелу флегрейського шлейфу

| Місцезнаходження | Вік попелу (вулканітів) | Морфологія частинок попелу | Характеристика покладів попелу |
|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Воронежська область | 39,3 тис. р. [17, 18] | Переважно пластинчасті частки прозорого скла ізометричної форми, а також видовжені зерна, призматичні уламки з паралельною повздожньою штриховкою, уламки з гофрированою поверхнею та ін. | Лінзоподібні поклади в неоплейстоценових лесоподібних суглинках товщиною від перших см до перших десятків см (в деяких випадках - більше м). Підшва завжди чітка, перехід до покриваючих суглинків поступовий |
| Харківщина | Пізній неоплейстоцен [5, 6] | | |
| Румунія, Urluia Quarry | близько до віку кампанських ігнімбритів [23] | | |
| Флегрейські поля | 39,28 тис. р. [20, 21 та ін.] | Ігнімбрити | Пластові тіла |

Все це дозволяє стверджувати, що прояви вулканічного попелу Харківщини зумовлені грандіозним виверженням вулкану Флегрейських полів, хоча відстань між ним і нашою територією перевищує 2000 км. Повітряне перенесення часток вулканічного скла не викликає сумнівів завдяки їх дрібнозернистості, пластинчастій формі і відсутності ознак обкатування саме у покладах попелу.

Висновки. Дослідження вулканічного попелу Харківщини почалося в середині минулого

століття. Ними в регіоні було встановлено декілька покладів попелу і численні місцезнаходження вулканічного скла, розсіяного у лесоподібних суглинках бузького кліматоліту.

Результати вивчення свідчать про подібність об'єктів, що містяться в межах пірокластичного шлейфу супервулкану Флегрейські поля. Прояви вулканічного попелу нашого регіону заповнюють у цьому шлейфі територію між більш відомими східними покладами Воронежської області Росії і

тими, що розташовані на заході - ближче до Флегрейських полів, зокрема, у Румунії. Завдяки великій віддаленості Харківщини від зазначеного центру ерупції, нашої території повітряним шляхом досягли переважно дуже дрібні пластинчасті частинки вулканічного скла.

Щодо подальших досліджень, доцільним є виявлення нових покладів вулканічного попелу, а також вивчення розповсюдження бузьких лесоподібних суглинків з розсіяним в них вулканічним склом як маркуючого горизонту з метою їх тєфро-стратиграфії і кореляції відкладів, тим більш, що методика таких досліджень розроблена [17, 25], а бажаність їх проведення в нашому регіоні вказувалася в деяких публікаціях [5, 6]. В зв'язку з цим зазначимо, що дані про вік розглянутого вулканічного попелу (близько 39,3 тис. р.) є важливими для датування бузького кліматоліту. Заслуговує на увагу також доцільність використання цих даних в якості хронологічного маркера в археологічних дослідженнях палеоліту.

Вулканічний попіл Харківщини є визначним краєзнавчим компонентом геологічних пам'яток

природи великого наукового і освітнього значення, який відбиває грандіозність вивержень супервулканів. Найкращим для практичного використання в науково-освітніх цілях можна вважати поклад вулканічного попелу поблизу с. Руські Тишки. Цей геосайт не випадково було віднесено до числа геологічних пам'яток України [12]. На жаль, він залишився поза увагою авторів фундаментального видання [2]. Його значення збільшилося у зв'язку з тим, що раніш широко відоме відслонення попелу на Малому Журавлівському узвозі в м. Харків було знищено під час міської забудови. Отже, актуальною є задача не тільки виявлення нових вартих уваги геологічних об'єктів, а й збереження вже відомих геосайтів як непоправних пам'яток природи [8].

Наприкінці висловлюємо велику вдячність доценту О.С. Борзяк за одержані аналітичні дані, а також Г.О. Измалкову і А.М. Распопову за участь і допомогу у проведенні польових досліджень та доц. О.О. Клевцову, який вказав місце розташування прояву вулканічного скла поблизу с. Донецьке.

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

Література

1. Войткевич Г.В. *Справочник по геохимии* [Текст] / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
2. *Геологічні пам'ятки України. – Т. 4* [Текст] / В.П. Безвинний, С.В. Білецький, О.Б. Бобров та ін.; за ред. В.І. Калініна, Д.С. Гурського. – Львів: ЗУКЦ, 2011. – 280 с.
3. *Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов* [Текст] / Под ред. А.Г. Власова и В.А. Флоринской. – Л.: Химия, 1972. – 304 с.
4. Карлов Н.Н. *К истории изучения вулканических пеплов Европейской части СССР* [Текст] / Н.Н. Карлов // Бюл. МОИП, новая сер., Т. LXII. – Отд. геол. – Т. XXXII. Вып. 2. – 1957. – С. 26–47.
5. Ковалев П.В. *Новые находки четвертичных вулканических пеплов на Левобережной Украине* [Текст] / П.В. Ковалев, И.Н. Ремизов, С.И. Проходский // *Природные ресурсы Левобережной Украины и их использование. Т. 1.* – Харьков, Изд. Харьк. ун-та, 1962. – С. 151–165.
6. Ковалев П.В. *Находки вулканического пепла в окрестностях Харькова* [Текст] / П.В. Ковалев, И.Н. Ремизов, С.И. Проходский // *Путеводитель экскурсий III съезда Географического общества УССР.* – Харьков: Облплотграфиздат, 1975. – С. 38–44.
7. Космачев В.Г. *Донецкое местонахождение четвертичного вулканического пепла близ г. Изюм на Харьковщине* [Текст] / В.Г. Космачев, М.В. Космачева // *Вісн. Харк. ун-ту.* – 1998. – № 402: Геологія. Географія. Екологія. – С. 25–26.
8. Космачова М.В. *Геологічна будова та спадщина Харківщини: Навчальний посібник* [Текст] / М.В. Космачова. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. – 112 с.
9. Лодочников В.Н. *Полурыхлый пепловый туффиит трахита из Дуванки (окр. г. Павловска)* [Текст] / В.Н. Лодочников // *Тр. ЦНИГРИ.* – 1935. – Вып. 39. – С. 19–34.
10. Лучицкий В.И. *Вулканические пеплы Воронежской области* [Текст] / В.И. Лучицкий // *Тр. Воронеж. ун-та.* – 1939. – Т. II. – Вып. 5. – С. 37–50.
11. Мелекесцев И.В. *Катастрофическое извержение в районе Флегрейских полей (Италия) – возможный источник вулканического пепла в позднплейстоценовых отложениях Европейской части СССР* [Текст] / И.В. Мелекесцев, В.Ю. Кирьянов, Н.Д. Праслов // *Вулканология и сейсмология.* – 1984. – № 3. – С. 35–44.
12. Мигачева Е.Е. *Харьковская область* [Текст] / Е.Е. Мигачева, И.Н. Ремизов // *Геологические памятники Украины: Справочник-путеводитель* / Отв. ред. А.И. Зарицкий. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 117–122.
13. Плюснина И.И. *Инфракрасные спектры минералов* [Текст] / И.И. Плюснина. – М.: Изд. Моск. ун-та, 1977. – 175 с.
14. Ремизов И.Н. *Путеводитель. Геоморфологическая экскурсия в Харькове* [Текст] / И.Н. Ремизов // *Программа межведомственной научной конференции, посвященной изучению и использованию природных ресурсов Левобережья Украинской ССР.* – Харьков, 1959. – С. 15–27.

15. Ремизов И.Н. Физико–географические условия накопления бугского яруса лесса на Украине [Текст] / И.Н. Ремизов, П.В. Ковалев // Известия Харьк. отдела Географ. об-ва Союза ССР. – 1963. – С. 14–20.
16. Романов И.С. Четвертичный вулканический пепел бассейна р. Мерлы [Текст] / И.С. Романов // Советская геология. – 1959. – № 10. – С. 136–138.
17. Холмовой Г.В. Вулканические пеплы в неоген–четвертичных отложениях и новые возможности тифростратиграфической корреляции (на примере Центрально–Черноземного региона) [Текст] / Г.В. Холмовой // Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода АН СССР. – 1989. – № 58. – С. 152–155.
18. Холмовой Г.В. Морфоскопические особенности неогеновых и четвертичных вулканических пеплов Воронежской области [Текст] / Г.В. Холмовой // Вестник Воронеж. ун–та. – 2008. – Сер. геол. – № 1. – С. 19–22.
19. Шварцбах М. Великие памятники природы [Текст] / М. Шварцбах. – М.: МИП, 1973. – 332 с.
20. Campi Flegrei [Electronic resource]. – Available at : http://vulcan.fis.uniroma3.it/campi_flegrei/Campi_flegrei.html
21. Campi Flegrei [Electronic resource]. – Available at : https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_Flegrei
22. Costa A. Quantifying volcanic ash dispersal and impact of the Campanian Ignimbrite super–eruption [Electronic resource] / A. Costa, A. Folch, G. Macedonio et al. // Geophysical Research Letters/ – V. 39. – Issue 10, version of Record online: 30 MAY 2012 – onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012_GL_051605/pdf
23. Fitzsimmons K. E. The Campanian Ignimbrite Eruption: New Data on Volcanic Ash Dispersal and Its Potential Impact on Human Evolution [Electronic resource] / K. E. Fitzsimmons, U. Hambach, D. Veres, R. Iovita // PLoS One. – 2013. – 8(6): e65839. – Available at : <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0065839>
24. Hoffecker J.F. From the Bay of Naples to the River Don: the Campanian Ignimbrite Eruption and the Middle to Upper Paleolithic transition in Eastern Europe [Text] / J.F. Hoffecker, V.T. Holliday, M.V. Anikovich et al. // Journal of Human Evolution. – 2008. – V. 55. – Issue 5. – P. 858–870. [Electronic resource]. – Available at : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047248408001711>
25. Lowe J. Volcanic ash layers illuminate the resilience of Neanderthals and early modern humans to natural hazards [Text] / J. Lowe, N. Barton, S. Blockley et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2012. – V. 109. – № 34. – Pp. 13532–13537. [Electronic resource]. – Available at : www.pnas.org/content/109/34/13532/p3.expansion.html
26. Orsi G. Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera [Text] / G. Orsi, M.A. Di Vito, R. Isaia // Bulletin of Volcanology. – 2004. – V. 66. – Issue 6. – Pp. 514–530.
27. Pyle D.M. Wide dispersal and deposition of distal tephra during the Pleistocene 'Campanian Ignimbrite/Y5' eruption, Italy / [Text] / D.M. Pyle, G.D. Ricketts, V. Margari et al. // Quaternary Science Reviews. – V. 25. – Issues 21–22. – November 2006. – Pp. 2713–2728. [Electronic resource]. – Available at : <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.06.008>
28. Tomlinson E.L. Geochemistry of the Phlegraean Fields (Italy) proximal sources for major Mediterranean tephras: Implications for the dispersal of Plinian and co–ignimbritic components of explosive eruptions [Text] / E.L. Tomlinson, I. Arienzo, L. Civetta et al. // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2012. – 93. – Pp. 102–128. [Electronic resource]. – Available at : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703712003535>

UDC 551.217(477.54)

Volodymyr Kosmachov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: kosmachov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3365-5524>;

Mariya Kosmachova,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: kosmachovamv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5642-8709>

QUATERNARY VOLCANIC ASH OF KHARKIV REGION

Formulation of the problem. The article is devoted to detail geological and mineralogical description of quaternary volcanic ash in Kharkiv region.

The purpose of the article is to ground its origin.

Presentation of the main material. Quaternary volcanic ash was discovered in Kharkiv region in the middle of last century. There are a few Late Neo-Pleistocene deposits of volcanic ash in Kharkiv region now. They are located in Kharkiv and near such villages as Russki Tishki, Novoselivka, Levkivka, Donetzke and Krasnokutsk. Such deposits of volcanic ash were found in the neighboring regions of the Eastern Ukraine - Lugansk, Donetsk, Dnieperpetrovsk and some other regions.

Volcanic ash forms the elongated lenticular deposits in the loess loam strata. The contact of ash beds is clear with underlying loess and gradual with overlying loess. The ash lies 3-5 m below the surface of loess. These ashes are light-grey with feeble yellow or brown shades. Its thickness is up to 0.4 m.

The particles of the ash are volcanic colourless isotropic glass with refraction index 1,517. Its forms are various. Plate isometric and elongated ash particles with even straight or cambered sides are the most widespread. Predominance of 0.005-0.1 mm particles in this ash rocks is confirmed by the results of mechanical analyses. This tephra is badly sorted. Their sort factor is 4.2-5.9. The ash deposits were formed by wind transportation of ash particles to wind shadow zones.

The results of X-ray investigation are typical for glass. IR-spectra investigation revealed molecular water and hydroxyl groups in the volcanic ash. Chemical composition of the volcanic ash of Kharkiv region is characterized by the average percentage of SiO_2 – 58.88, Al_2O_3 – 18.79, Na_2O – 5.03, K_2O – 6.30, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ – 11.33. Relation of Na_2O to K_2O is 0.80 and $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ to Al_2O_3 is 0.60. It corresponds to trachyte and phonolite and is confirmed by the refraction index of glass particles.

The volcanic glass particles are angular and non-rounded. This fact signifies the eolian origin of ash deposits.

Moreover, numerous manifestations of volcanic ash scattered in loess loams are found in Kharkiv region. These loams contain only a few per cents of poorly rounded volcanic ash particles. The loess loams with scattered volcanic ash and volcanic ash deposits belong to the same stratigraphic datum - to the Bugskij horizon, which correspond to Wurmian stage.

Conclusions. All tephra deposits of Kharkiv region are in the ash plume of the super-eruption, which occurred in Southern Italy about 39280 years ago (Campanian Ignimbrite eruption). Kharkiv objects fill territory in this plume between the ash depositions of Romania and Russian Voronezh region. They are similar to all other tephra localities of this plume. The volcanic ash was taken by air from the Phlegraean Fields though the distance between Kharkiv and this volcano is over 2000 km.

Scientific novelty and practical significance. We can affirm that Kharkiv ash deposits are the result of distant ashfall of Phlegraean Fields super-eruption. The volcanic ash is a horizon marker in the Neo-Pleistocene strata and a datum mark for archaeological study of the Paleolithic cultures.

Volcanic ash is a remarkable component of Kharkiv region geological monuments. Russki Tishki locality of volcanic ash is the best object in Kharkiv region. It is situated in 22 km north from Kharkiv. These geological sights have been used as objects of scientific tourism and native land study. Their protection is of highly necessity.

Keywords: volcanic glass, ash deposits, geological monuments.

References

1. Vojtkevich, G.V., Kokin, A.V., Miroshnikov, A.E., Prokhorov V.G. (1990). *Geochemical handbook. Moscow, Russia: Bowel, 480 [in Russian].*
2. Bezvinnyj, V.P., Bileckij, S.V., Bobrov, O.B. at al. (2011). *Geological landmarks of Ukraine. 4. Lviv, Ukraine: ZUKC, 280 [in Ukrainian].*
3. *Infrared spectrums of inorganic glass and crystals (1972.) L.: Chemistry. 304 [in Russian].*
4. Karlov N.N. (1957). *History of investigation of volcanic ash in the European part of the USSR. Bull. Moscow Society of Nature Investigation, new series, V. LXII. - Section. geol. XXXII, 2. 26-47 [in Russian].*
5. Kovalev P.V., Remizov I.N., Prokhodskij S.I. (1962). *New finds of quaternary volcanic ash in the left-coast part of Ukrainian SSR. Natural resources of the left-coast part of Ukraine and its uses. 1. Kharkiv. 151-165 [in Russian].*
6. Kovalev P.V., Remizov I.N., Prokhodskij, S.I. (1975). *The finds of quaternary volcanic ash in Kharkiv neighbourhood. Guide of III congress of Geographical society USSR excursion. Kharkiv. 38-44 [in Russian].*
7. Kosmachev V.G., Kosmacheva M.V. (1998). *Donetsk deposit of quaternary volcanic ash in Kharkiv region. News of V. N. Karazin Kharkiv National University, series Geology, Geography, Ecology. 402. 25-26 [in Russian].*
8. Kosmacheva M.V. (2014). *Geological structure and heritage of Kharkiv region. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. 112 [in Ukrainian].*
9. Lodochnikov V.N. (1935). *Semi-hard trachyte ash tuffite from Duvanka near Pavlovsk. Works. CNIGRI. 39, 19-34 [in Russian].*
10. Luchickij V.I. (1939). *Volcanic ash of Voronezh district. Works. Voronezh. University. 11, 5, 37-50 [in Russian].*
11. Melekestsev, I.V., Kirianov, V.Y., Praslov, N.D. (1984). *Catastrophic eruption in the Phlegraean Fields district (Italy) - possible source for a volcanic ash in late Pleistocene sediments of the European part of the USSR. Volcanology and seismology. 3, 35-44 [in Russian].*
12. Migacheva, E.E., Remizov, I.N. (1985). *Geological monuments of Ukraine: Kharkiv region. Kiev, Ukraine: Scientific Thought. 117-122 [in Russian].*
13. Plyushnina, I.I. (1977). *Infrared spectrums of minerals. Moscow, Russia: Publishing house of Moscow University. 175 [in Russian].*
14. Remizov I.N. (1959). *Guide-book of geomorphological excursion in Kharkiv [The program of scientific conference devoted to investigation and uses of natural resources of left-coast part of Ukrainian SSR]. Kharkov. 15-27 [in Russian].*

15. Remizov I.N., Kovalev P.V. (1963). *Physiogeographic conditions of Bugsk loess accumulation in Ukraine. News of Kharkiv section of Geograf. society of the USSR*, 14-20 [in Russian].
16. Романов І.С. (1959) *Quaternary volcanic ash of Merla basin. Soviet Geology*. 10, 136-138 [in Russian].
17. Kholmovoj G.V. (1989) *Volcanic ash in Neogene--Quaternary deposits and new possibility of tefrostratigraphic correlation. Bull. of Quaternary Period Commission of the Academy science of the USSR*. 58, 152-155 [in Russian].
18. Kholmovoj G.V. (2008). *Morfoskopic peculiarities of Neogene and Quaternary volcanic ash of Voronezh district. News of Voronezh. University. Ser. geol.* 1, 19-22 [in Russian].
19. Schwarzbach, M. (1973). *Great nature monuments. Moscow, Russia: MIR*. 332 [in Russian].
20. Campi Flegrei. Available at: http://vulcan.fis.uniroma3.it/campi_flegrei/Campi_flegrei.html
21. Campi Flegrei. Available at : https://it.wikipedia.org/wiki/Campi_Flegrei
22. Costa A., Folch A., Macedonio. G. at al. (2012). *Quantifying volcanic ash dispersal and impact of the Campanian Ignimbrite super-eruption. Geophysical Research Letters*. 39, 10, version of Record online: 30 MAY 2012 - onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012GL051605/pdf
23. Fitzsimmons K. E., Hambach U., Veres D., Iovita R. (2013). *The Campanian Ignimbrite Eruption: New Data on Volcanic Ash Dispersal and Its Potential Impact on Human Evolution. PLoS One*. 8(6): e65839. Available at: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0065839>
24. Hoffecker J.F., Holliday V.T., Anikovich M.V. at al. (2008). *From the Bay of Naples to the River Don: the Campanian Ignimbrite Eruption and the Middle to Upper Paleolithic transition in Eastern Europe. Journal of Human Evolution*. 55, 5. 858-870. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047248408001711>
25. Lowe J., Barton N., Blockley S., at al. (2012). *Volcanic ash layers illuminate the resilience of Neanderthals and early modern humans to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109, 34. 13532-13537. Available at: www.pnas.org/content/109/34/13532/p3.expansion.html
26. Orsi G., Di Vito M.A., Isaia R. (2004). *Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera. Bulletin of Volcanology*. 66, 6. 514-530.
27. Pyle D.M., Ricketts G.D., Margari V. at al. (2006). *Wide dispersal and deposition of distal tephra during the Pleistocene 'Campanian Ignimbrite/Y5' eruption, Italy. Quaternary Science Reviews*. 25, 21-22. 2713-2728.
28. Tomlinson E.L., Arienzo I., Civetta L. et al. (2012). *Geochemistry of the Phlegraean Fields (Italy) proximal sources for major Mediterranean tephra: Implications for the dispersal of Plinian and co-ignimbritic components of explosive eruptions. Geochemica et Cosmochemica Acta*. 93, 102-128.

УДК 553.94:551.735

Олександр Володимирович Любчак,

к. геол. н., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна,
e-mail: lubchak1973@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>;

Юрій Володимирович Хоха,

к. геол. н., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
e-mail: khoha_yury@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

Мирослава Богданівна Яковенко,

к. геол. н., вчений секретар, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

СПІВВІДНОШЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СКЛАДОВОЇ АРГІЛІТІВ СХІДНИХ КАРПАТ ЗА ФОРМАЛІЗМОМ ДЖЕЙНСА

Частина осадових порід, що складають Східні Карпати, характеризуються значною насиченістю вуглеводнями. В літературі вони відомі під помилковою назвою "менілітові сланці", оскільки являють собою чорні та темно-сірі аргіліти, що складають менілітову світу олігоцену Внутрішньої зони Передкарпатського прогину і Складчастих Карпат.

Цей об'єкт зручний для вивчення, адже на поверхні наявні численні виходи менілітової світи, яка, окрім аргілітів, вміщує пісковики, алевроліти, мергелі, кремені із характерною домішкою силіцилів. Менілітова світа – потужне утворення, товщина якого сягає 1500 м. З вуглеводневою масою, накопиченою в ній, пов'язують близько 70% родовищ нафти Прикарпаття. Вміст органічного вуглецю по світі складає у середньому 4-6%. Нами поставлено завдання дослідити будову бітумів аргілітів менілітової світи та перерозподіл структурних елементів у вуглеводнях, який відбувається при зануренні, із збільшенням температури. Для виконання завдання застосовані методи рівноважної термодинаміки у сполученні із формалізмом Джейнса, який є частиною термодинаміки максимальної ентропії. Попередні роботи, що присвячені цій тематиці, спираючись на модельні структури, які мають відображати усереднену молекулу бітуму. Із застосуванням цієї структури дослідники проводять розрахунки. З огляду на неоднорідність складу викопних вуглеводнів та нерегулярність будови розсіяної органічної речовини, такий підхід може вносити суттєві похибки у результати.

Спираючись на формалізм Джейнса, нами розроблена методика визначення вмісту функціональних груп у викопних вуглеводнях, як функції температури, спираючись лише на елементний склад зразку. Загалом, проводиться розрахунок відносної кількості 44 функціональних груп, відповідно до робіт ван Кревелена. Обчислення здійснювались в межах температур 300 – 600 К (27 – 327 °С), без ведення додаткових припущень.

Встановлено, що характер перерозподілу для окремих функціональних груп у загальному збігається з відомими експериментальними даними та відповідає сучасним уявленням про зміни структури викопних вуглеводнів із зануренням. Наявні невідповідності ймовірно будуть вирішені при введенні в розрахункову систему газів, які утворюються в процесі катагенезу.

Ключові слова: менілітові сланці, формалізм Джейнса, бітуми, функціональні групи, енергія Гіббса, алкани, циклізація вуглеводнів, гетероатомні групи.

А. В. Любчак, Ю. В. Хоха, М. Б. Яковенко. СООТНОШЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЕВОДОРОДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АРГИЛЛИТОВ ВОСТОЧНЫХ КАРПАТ ПО ФОРМАЛИЗМУ ДЖЕЙНСА. Отдельные осадочные породы, слагающие Восточные Карпаты, характеризуются значительной насыщенностью углеводородами. В литературе они известны под ошибочным названием "менилитовые сланцы", поскольку представляют собой черные и темно-серые аргиллиты, составляющие менилитовую свиту олигоцена Внутренней зоны Предкарпатского прогиба и Складчатых Карпат.

Этот объект удобен для изучения, поскольку на поверхности наблюдаются многочисленные выходы менилитовой свиты, которая, кроме аргиллитов, содержит песчаники, алевролиты и мергели с характерной примесью силлицитов. Менилитовая свита – мощное образование, толщина которого достигает 1,5 км. С углеводородной массой, накопленной в ней, связывают около 70% месторождений нефти Прикарпатья. Содержание органического углерода по протяженности свиты составляет в среднем 4-6%. Нами поставлена задача исследовать строение битумов аргиллитов менилитовой свиты и перераспределение структурных элементов в углеводородах, которое происходит при погружении с увеличением температуры. Для выполнения задания применены методы равновесной термодинамики и формализм Джейнса, который является частью термодинамики максимальной энтропии. Предыдущие работы, посвященные этой тематике, опираются на модельные структуры, должны отражать усредненную молекулу битума (керогена и др.). Используя эту структуру, исследователи проводят расчеты. Учитывая неоднородность состава ископаемых углеводородов и нерегулярность строения рассеянного органического вещества, такой подход может вносить существенные погрешности в термодинамическую модель.

Опираясь на формализм Джейнса, нами разработана методика определения содержания функциональных групп в битумах, как функции температуры, опираясь лишь на элементный состав образца. В целом, определялось относительное количество 44 функциональных групп, в соответствии с работами ван Кревелена. Вычисления осуществлялись в температурном диапазоне 300–600 К (27–327 °С), без введения дополнительных предположений.

Установлено, что характер перераспределения для отдельных функциональных групп, в целом совпадает с известными экспериментальными данными и соответствует современным представлениям об изменениях структуры ископаемых углеводородов с погружением. Имеющиеся несоответствия в дальнейшем будут устранены при введении в расчетную систему газов, образующихся в процессе катагенеза.

Ключевые слова: менилитовые сланцы, формализм Джейнса, битумы, функциональные группы, энергия Гиббса, алканы, циклизация углеводородов, гетероатомные группы.

Постановка проблеми. Особливу увагу при контексті їх потенційної нафтогазоносності, прививченні сланцевих порід Східних Карпат, в вертають чорні сланці протерозой-палеозою. Їх

поділяють на сланці лудловського ярусу силуру, тиверської світи девону та пачки органовміщуючих аргілітів ранньокам'яновугільного часу, що локалізовані у Волино-Поділлі, а також аргіліти з високим вмістом бітумів (помилкова назва – "менілітові чорні сланці") Внутрішньої зони Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат Карпатської нафтогазоносною провінції [1].

Менілітова світа Карпат є однією з основних чорносланцевих товщ Українських Карпат [2]. З огляду на особливості її залягання вона являє собою зручний об'єкт для досліджень, адже насичені вуглеводнями, переважно у формі бітумів, аргіліти, що її складають, легкодоступні для вивчення. Незважаючи на наявність у назві терміну

"сланці", менілітові сланці Українських Карпат – це насичені вуглеводнями аргіліти (чорні та темно-сірі), що складають менілітову світу олігоцену Внутрішньої зони Передкарпатського прогину і Складчастих Карпат [3]. Ця світа, окрім аргілітів, вміщує прошарки пісковиків, алевролітів, мергелів, кременів. Характерною для неї є наявність силіцитів (фтанітів, вапнистих силіцитів, діатомітів, спонголітів). Карбонатні утворення поширені рідше і утворюють малопотужні пласти.

Загальна товщина менілітової світи сягає 1500 м. Вона підрозділяється на три підсвіти: нижньоменілітову, середньоменілітову (лопянецьку) та верхньоменілітову. Породи в світі зім'яті в круті складки, ускладнені насувами і скидами.

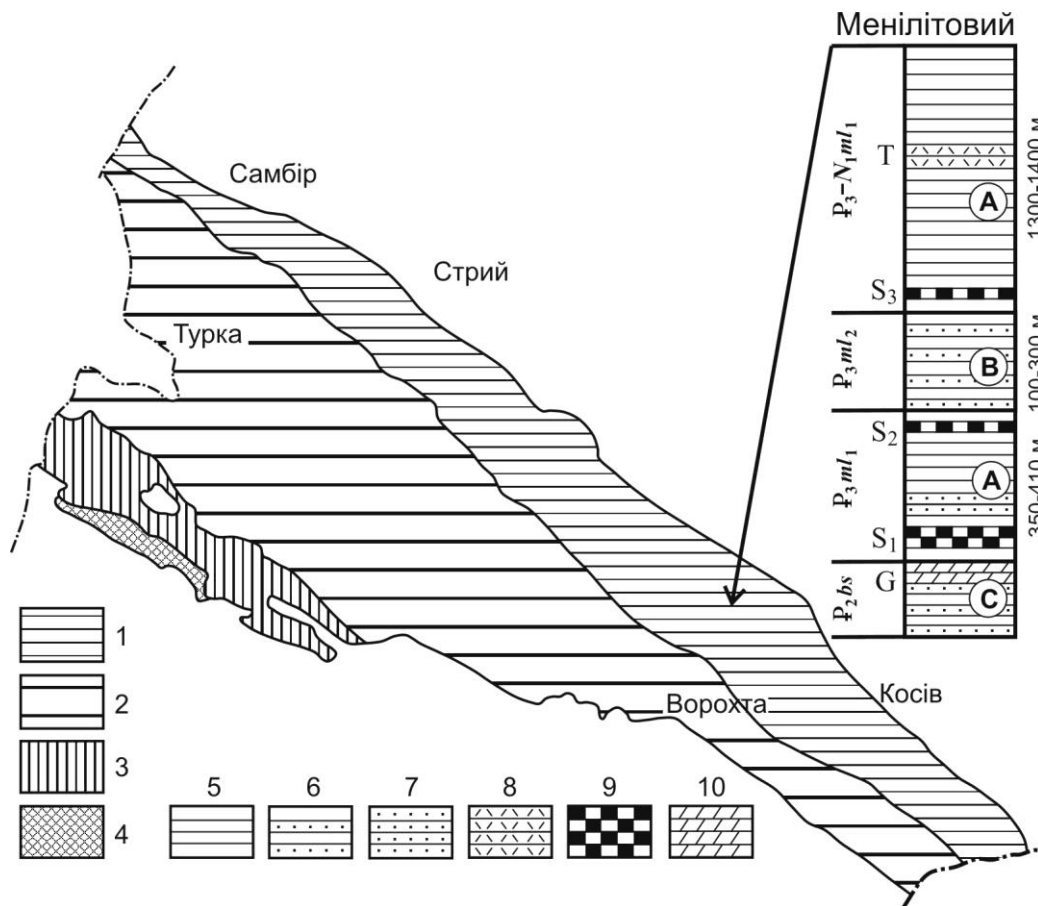


Рис. 1. Карта-схема поширення олігоценових відкладів Східних Карпат (за матеріалами [1]).

Позначення: А-Д – літолого-геохімічні типи відкладів: А – чорні вуглецевмісні скремінілі теригено-глинисті, В – сірі, глинисто-теригенні карбонатні, С – зеленувато-сірі і строкаті глинисто-теригенні;

1-4 – літолого-фаціальні типи розрізів: 1 – менілітовий; 2 – кросненський, 3 – дуїнський, 4 – турицький; 5-10 – літофації: 5 – аргілітові і піскувато-аргілітова; 6 – ритмічна аргілітові-піскувата, 7 – масивних і товсто шаруватих пісковиків з поодинокими прошарками аргілітів; 8 – туфи; 9 – силіцити; 10 – мергелі

З олігocenовою менілітовою світою пов'язують близько 70% родовищ нафти Прикарпаття. Цьому сприяють колекторні властивості цієї світи. Хоча колектори, складені з пісковиків, літологічно невитримані, їхня абсолютна пористість може сягати 22%. Хорошим прикладом колекторної здатності порід цієї світи є горизонт

(потужність 30-40 м) бориславського пісковиків, що слугує головним резервуаром нафти у Бориславському районі та характеризується пористістю 5,8 – 26,4%.

Значний досвід при визначенні нафтогазоносності осадових порід, насичених вуглеводнями, накопичений фахівцями США [1,4,5,6]. Спираю-

чись на їхні дослідження, можна виділити окремі важливі критерії нафтогазоносності, а саме:

- достатньо високий вміст органічного вуглецю $C_{орг}$ в породах, який має перевищувати 0,5%;
- значна потужність сланцевих порід (для забезпечення комфортного режиму гідророзриву та вилучення рентабельних кількостей вуглеводнів) – більше за 70 м;
- доступна глибина залягання;
- наявність проявів вуглеводнів;
- сприятлива історія геодинамічного розвитку території та відповідна інтенсивність тектонічних рухів і деформацій.

Окрім вищезазначених, основних критеріїв, наявні і додаткові: це низька щільність, висока пористість порід-колекторів, сприятливий літологічний склад, підвищена кількість кварцу і піриту, а також окремих мікроелементів і т.д.

Серед вищезазначених критеріїв вміст вуглеводнів посідає чільне місце. Характерною особливістю менілітової світи, особливо її нижньої підсвіти, є значний вміст вуглеводневих сполук (ВС), який досягає 35% із середніми значеннями в діапазоні 12 – 17%. Звертає увагу й високий вміст органічного вуглецю $C_{орг}$ – в середньому 4 – 6%. Середня частина нижньоменілітової підсвіти характеризується також значною концентрацією $C_{орг}$, який становить 4 – 5%.

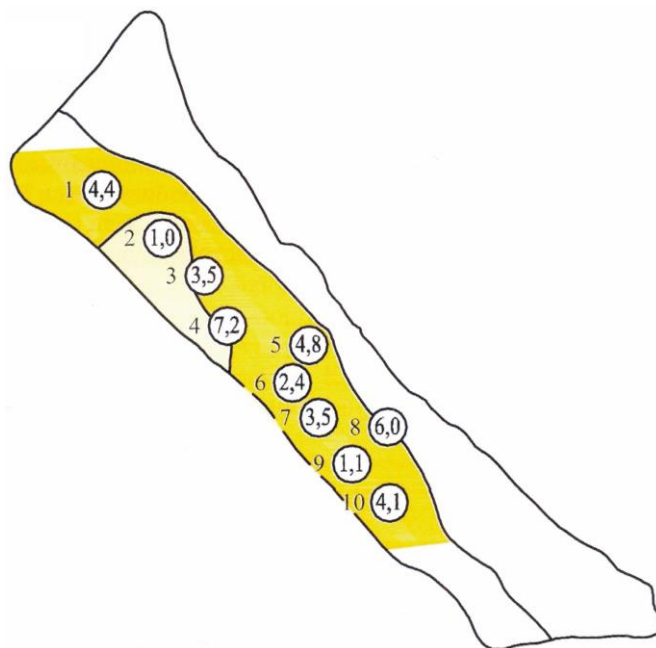


Рис. 2. Концентрація $C_{орг}$ у нижньоменілітових відкладах Бориславо-Покутської зони (за даними [1])

З огляду на вищезазначені критерії нафтогазоносності, можна припускати ймовірність утворення родовищ викопних вуглеводнів шляхом деградації ВС, що містяться у відкладах нижньоменілітової підсвіти. Дослідження будови вуглеводнів, що складають бітуми аргілітів менілітової світи, та змін, які з ними відбуваються в процесі катагенезу, можуть надати відомості стосовно нафтогазоносного потенціалу цих відкладів.

Історія вивчення проблеми. Загалом, генезис викопних вуглеводнів описується двома гіпотезами, які здобули широке визнання у науковому середовищі. Це гіпотези органічного та неорганічного походження, а також дуалістичні концепції. З погляду термодинаміки, зазначені гіпотези зводяться до двох механізмів: органічна полягає у деградації (в процесі катагенезу та метагенезу) високомолекулярних органічних сполук, які накопичуються в осадових породах. Результатом є

утворенням базових класів алканів, циклоалканів та ароматичних сполук, що складають нафту, газоконденсат та природний газ. Неорганічна базується на припущенні про ймовірність синтезу високомолекулярних компонентів викопних вуглеводнів в умовах значних тисків та температур із простих неорганічних речовин, таких як оксиди вуглецю, вода, водень, сірководень та інших, що дегазуються з мантіїного осередку. Синтез відбувається в термодинамічних умовах, які, за різними даними, відповідають межах астеносфери Землі.

Якщо термодинамічний розрахунок складу системи вуглеводнів (разом із первинним неорганічним матеріалом), яка синтезується в астеносфері Землі, успішно проводиться різноманітними методами [7, 8, 9], то термодинаміка деградації органічної речовини в умовах осадової товщі розглянута недостатньо детально. Причиною цього є нестача інформації про первинний органічний

матеріал, з якого в процесі деградації можуть утворюватись індивідуальні компоненти викопних вуглеводнів.

Слід зазначити, що склад та структура викопної органічної речовини досліджується вже тривалий час. В літературі наявний великий пласт інформації щодо структурних елементів та функціональних груп керогену і бітуму (переважно після екстракції хлороформом), які одержані Фур'є-спектрометрією в інфрачервоному діапазоні [10, 11]. Крім ІЧ-спектроскопії, для отримання таких відомостей активно застосовують рентгенівську фотоелектронну спектроскопію (X-ray photoelectron spectroscopy) [12, 13], ядерно-магнітний резонанс [14] та мас-спектрометрії [13, 14, 15] із різноманітними техніками: електроспрею, раман-спектрометрії. Ще більше цінних відомостей одержано при комбінуванні зазначених методик.

Проте, для загальноживаних методів термодинамічних розрахунків недостатньо лише інформації про кількісне та якісне співвідношення окремих структурних елементів. Метод констант незалежних реакцій, мінімізації ізобарно-ізотермічного потенціалу або максимізації ентропії вимагають наявності інформації про всі сполуки, що входять у розрахункову систему. Якщо із компонентами нафти або газоконденсату особливих проблем не виникає, що пов'язано із наявністю детальних досліджень саме по індивідуальних компонентах цих природних систем, то кероген і бітум, зважаючи на їхню складність та нерегулярність будови, залишаються недослідженими.

Дослідники цього питання змушені використовувати т.з. модельні структури, які, за задумом авторів, усереднюють молекули керогену або бітуму. Так, у фундаментальній роботі Хелгесона Г. та інш. [16], присвяченій питанню термодинаміки утворення нафти з ВР в осадовій товщі, з цією метою взяті гіпотетичні структури керогенів від I до IV типу (та перехідних), разом із окисленими та неокисленими формами, для яких визначили термодинамічні функції адитивно-груповими методами. Недосконалість такого підходу очевидна, з огляду на неоднорідність складу та структури ВР.

Мета. Розробити спосіб термодинамічного розрахунку складу розсіяної органічної речовини без введення припущень про її початкову структуру. Основою для проведення обчислень вибрано метод, що базується на формалізмі Джейнса (Jaynes E.T.), як частині термодинаміки максимальної ентропії (MaxEnt thermodynamics).

Вихідні дані для розрахунку – елементний склад бітумів менілітових сланців Українських Карпат і температура за якої відбувалось його перетворення. Зразки одержані в 2014 році під час виконання проекту науково-дослідних робіт молодих учених НАН України.

Виклад основного матеріалу. Комплекс осадова порода – ВР, незалежно від вихідного матеріалу, характеризується у просторі значною неоднорідністю. Ця неоднорідність проявляється як в макромасштабі, так і на мікрорівні, де проявляється відсутністю впорядкованості атомарних груп. Причиною такого явища є нестационарність процесу осадконагромадження, яка полягає у мінливості вихідного складу матеріалу та відмінності в швидкостях окремих реакцій.

Традиційний підхід полягає у складанні системи хімічних реакцій, які описують перетворення ВР у контакт з оточуючими мінералами, та її вирішення для певних термобаричних умов і початкового складу (концентрацій компонентів). Зрозуміло, що для ВР такий метод неприйнятний з огляду на вищезазначені фактори мінливості складу та інших умов. Окремо зазначимо, що методи аналітичної хімії, які активно застосовують для вивчення викопної органічної речовини не дають жодної надійної інформації про її властивості у цілому. Наприклад, проведення ІЧ-спектроскопії з розкладанням у ряд Фур'є без деструкції вихідної речовини, надасть відомості лише про вміст аналітико-функціональних груп у невеликому зразку, який відібрано із породного масиву. Проте, варто очікувати, що проба, відібрана на незначній відстані від дослідженої, матиме якщо не цілковите інакший, то суттєво відмінний склад. Навіть елементний склад зразків, відібраних в межах однієї ділянки покладу є змінною величиною.

Термодинаміка максимальної ентропії поєднує техніки з теорії інформації Шеннона, Баєсової ймовірності та принципу максимальної ентропії [17]. Джейнсом був запропонований формалізм відновлення невідомих законів розподілу випадкових величин при наявності обмежень з умов максимуму ентропії Шеннона. Для застосування положень, висунутих Джейнсом приймаємо:

1. ВР знаходиться в стані термодинамічної рівноваги;
2. будова ВР нерегулярна.

У такому разі методика дає можливість встановити пропорційний вміст функціональних груп в ВР спираючись лише на елементний склад зразку. Перелік функціональних груп, які достатньо повно описують ВР, запозичений з робіт Ван Кревелена, та складає 44 одиниці.

При застосуванні класичного методу, для знаходження розподілу зазначених груп у стані термодинамічної рівноваги, необхідно скласти систему з 44 рівнянь із 44 невідомими, що неможливо за умов обмежених вхідних даних. Окремими дослідниками пропонувались системи до 20 рівнянь [18]. Так само проблематично застосувати широко вживаний спосіб мінімізації енергії Гіббса, оскільки він вимагає наперед закласти

ймовірні компоненти системи із їхніми властивостями. Нами ж ставиться зворотнє завдання – визначити розподіл цих складових.

Поставлене завдання зводиться до визначення розподілу 5 елементів (Карбон, Гідроген, Кисень, Нітроген, Сірка) по 44 групам атомів за додатковими умовами. Аналітично формалізм Джейнса, у застосуванні до моделі ВР [19], описується в наступній послідовності рівнянь: визначення розподілу елементів будемо проводити на один моль груп атомів:

$$\sum_{i=1}^{44} v_i = 1. \quad (1)$$

Вихідними даними є масовий вміст п'ятьох елементів, які складають ВР, записуємо систему рівнянь (2) фізичний зміст якої виражає закон збереження маси:

$$\sum_{i=1}^{44} n_{ji} v_i = n_j, \quad j = 1..5. \quad (2)$$

Вираз (3) визначає сумарний ізобарно-ізотермічний потенціал розглянутої системи:

$$\sum_{i=1}^{44} \Delta G_i v_i = \Delta G. \quad (3)$$

Ентропія системи, виражається наступною залежністю:

$$S = -R \sum_{i=1}^{44} v_i \cdot \ln(v_i), \quad (4)$$

та за умов (1 – 3) для обраної температури максимізується, тобто вираз (4) повністю визначає розподіл груп атомів. Методом невизначених множників Лагранжа вираз (4) максимізується із дотриманням додаткових умов (1 – 3).

Для рівнянь (1 – 4) прийнято: v_i – мольна частка i -ої групи атомів, n_{ji} – вміст j -го елемента в i -ій групі атомів, n_j – кількість моль j -го елемента, що припадає на 1 моль груп атомів, ΔG_i – енергія Гіббса i -ої групи атомів (Дж/моль), ΔG – загальна енергія Гіббса одного моля груп атомів (Дж/моль), $R = 8,31441$ Дж/(моль×К) – універсальна газова постійна. Індекс j послідовно приймає значення від 1 до 5, відповідно до елементів С, Н, О, N, S.

Мольна частка v для i -ї складової входила у розрахункову систему так:

$$v_i = \exp \left[- \left(\lambda_0 + \lambda_C \cdot n_{Ci} + \lambda_H \cdot n_{Hi} + \lambda_O \cdot n_{Oi} + \lambda_N \cdot n_{Ni} + \lambda_S \cdot n_{Si} + \frac{\Delta G_i}{RT} \right) \right],$$

$$\lambda = \frac{\mu}{RT},$$

де:

λ – безрозмірний потенціал Планка, нижній індекс відповідає елементу (С, Н, О, N, S), а λ_0 це:

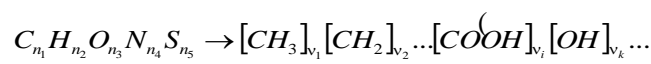
$$\lambda_0 = \ln \left[- \sum_{i=1}^{44} \left(\lambda_C \cdot n_{Ci} + \lambda_H \cdot n_{Hi} + \lambda_O \cdot n_{Oi} + \lambda_N \cdot n_{Ni} + \lambda_S \cdot n_{Si} + \frac{\Delta G_i}{RT} \right) \right],$$

де:

μ – хімічний потенціал (Дж/моль), який являє собою енергію Гіббса 1 моля атомів.

Ми використали адитивно-груповий метод розрахунку енергії Гіббса за Ван Кревеленом [20] для 44 аналітико-функціональних груп, що формують гомологічні ряди алканів, алкенів, алкінів, ароматичних структур, гетероциклічних (Оксигено-, Нітрогено- та Сірковмісних), карбонільних та карбоксильних груп, ациклічних груп, що містять сірку, азот та кисень, у межах температур 300 – 600 К (27 – 327 °С). Вибір умов зумовлений відомостями щодо температур в осадових комплексах, за яких відбувається інтенсивне перетворення ВР. За даними [21] вони знаходяться в діапазоні 200 – 350°С, що відповідає 473 – 623 К.

Обчислення зводились до вирішення системи нелінійних рівнянь методом Ньютона. Початкові значення потенціалів атомів С, Н, О, N, S перебирались в широкому діапазоні, із накопиченням результатів, які мають найбільші значення ентропії при найменших показниках ізобарно-ізотермічного потенціалу. Результатом став розподіл атомів, що складають ВР по групах, залежно від температури:



Таким чином, без ведення додаткових припущень ми переходимо від брутто-формули до структури. Вищенаведений запис незручний, з огляду на значну кількість структурних елементів, що складають ВР, тому результати подаються в табличній формі (табл. 1 та 2).

Нами розраховані значення енергії Гіббса та ентропії для всіх температур в перерахунку на 1 моль груп атомів ВР. Встановлено, що із зростанням температури значення енергії Гіббса збільшується за лінійною залежністю (рисунок 2), разом із збільшенням ентропії за функцією, відмінною від прямої (рисунок 3).

З рисунку 3 випливає, що самовільний процес трансформації ВР без прикладання роботи стиснення є неможливим, оскільки ΔG на рисунку 3 є додатним. Тому, розрахунок лише з врахуванням температури є неповним, хоча для твердої та рідкої фази він може бути використаний до певних меж, що лімітуються глибиною занурення порід в процесі діа- та катагенезу. І навпаки, можна передбачити самовільний процес розподілу атомарних груп, згідно визначених в таблицях 1 та 2

трендів, в періоди підняття порід, що вміщують вуглеводневу речовину речовину.

Слід розуміти, що одержані результати показують найбільш ймовірний склад ВР в стані термодинамічної рівноваги за заданої температури. Тому не варто сприймати розподіл атомарних груп як вичерпні відомості про будову ВР. Скоріше ми показуємо динаміку групового складу

залежно від умов, в яких перебуває речовина. Об'єктом для порівняння обрано визначення групового складу вугілля "черемхітове" Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (атомарний склад вуглеводневої частини у відсотках: С – 78,85, Н – 6,6, О – 11,82, N – 1,42, S – 1,31 на горючу масу), яке проведено раніше [19].

Таблиця 1

Відносні мольні частки груп атомів, складених з вуглецю та водню

| № | Група | Т, К | | | | | | |
|----------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Алкани | | | | | | | | |
| 1 | -CH ₃ | 0,6441 | 0,6438 | 0,6436 | 0,6436 | 0,6449 | 0,6469 | 0,6474 |
| 2 | -CH ₂ - | 3,88×10 ⁻⁰⁷ | 2,05×10 ⁻⁰⁶ | 7,19×10 ⁻⁰⁶ | 2,62×10 ⁻⁰⁵ | 9,51×10 ⁻⁰⁵ | 2,14×10 ⁻⁰⁴ | 3,00×10 ⁻⁰⁴ |
| 3 | -CH- | 5,15×10 ⁻¹³ | 1,06×10 ⁻¹¹ | 1,04×10 ⁻¹⁰ | 1,16×10 ⁻⁰⁹ | 1,32×10 ⁻⁰⁸ | 5,96×10 ⁻⁰⁸ | 1,06×10 ⁻⁰⁷ |
| 4 | -C- | 2,58×10 ⁻¹⁸ | 1,34×10 ⁻¹⁶ | 2,64×10 ⁻¹⁵ | 6,92×10 ⁻¹⁴ | 2,04×10 ⁻¹² | 1,55×10 ⁻¹¹ | 3,06×10 ⁻¹¹ |
| Алкени | | | | | | | | |
| 5 | 2HC=CH- | 1,46×10 ⁻⁰⁶ | 9,05×10 ⁻⁰⁶ | 3,54×10 ⁻⁰⁵ | 8,27×10 ⁻⁰⁵ | 1,37×10 ⁻⁰⁴ | 2,43×10 ⁻⁰⁴ | 4,91×10 ⁻⁰⁴ |
| 6 | 2HC=C< | 1,12×10 ⁻¹⁰ | 1,78×10 ⁻⁰⁹ | 1,42×10 ⁻⁰⁸ | 7,89×10 ⁻⁰⁸ | 3,38×10 ⁻⁰⁷ | 1,02×10 ⁻⁰⁶ | 2,30×10 ⁻⁰⁶ |
| 7 | H<C=C>H | 1,17×10 ⁻¹¹ | 2,48×10 ⁻¹⁰ | 2,44×10 ⁻⁰⁹ | 1,61×10 ⁻⁰⁸ | 7,89×10 ⁻⁰⁸ | 2,66×10 ⁻⁰⁷ | 6,55×10 ⁻⁰⁷ |
| 8 | H<C=C>H | 3,36×10 ⁻¹¹ | 6,32×10 ⁻¹⁰ | 5,72×10 ⁻⁰⁹ | 3,53×10 ⁻⁰⁸ | 1,64×10 ⁻⁰⁷ | 5,29×10 ⁻⁰⁷ | 1,26×10 ⁻⁰⁶ |
| 9 | H<C=C< | 8,51×10 ⁻¹⁶ | 4,42×10 ⁻¹⁴ | 8,59×10 ⁻¹³ | 1,32×10 ⁻¹¹ | 1,64×10 ⁻¹⁰ | 9,24×10 ⁻¹⁰ | 2,49×10 ⁻⁰⁹ |
| 10 | >C=C< | 1,52×10 ⁻²¹ | 3,41×10 ⁻¹⁹ | 2,00×10 ⁻¹⁷ | 9,92×10 ⁻¹⁶ | 4,08×10 ⁻¹⁴ | 4,79×10 ⁻¹³ | 1,70×10 ⁻¹² |
| Дієни | | | | | | | | |
| 11 | 2HC=CH=C<H | 4,70×10 ⁻²⁰ | 2,48×10 ⁻¹⁷ | 2,72×10 ⁻¹⁵ | 6,87×10 ⁻¹⁴ | 6,40×10 ⁻¹³ | 5,47×10 ⁻¹² | 5,15×10 ⁻¹¹ |
| 12 | 2HC=CH=C< | 8,16×10 ⁻²⁴ | 8,64×10 ⁻²¹ | 1,60×10 ⁻¹⁸ | 8,36×10 ⁻¹⁷ | 1,80×10 ⁻¹⁵ | 2,38×10 ⁻¹⁴ | 2,31×10 ⁻¹³ |
| 13 | H<C=CH=C<H | 7,75×10 ⁻²⁵ | 1,14×10 ⁻²¹ | 2,71×10 ⁻¹⁹ | 1,71×10 ⁻¹⁷ | 4,30×10 ⁻¹⁶ | 6,47×10 ⁻¹⁵ | 6,95×10 ⁻¹⁴ |
| Спряжені групи | | | | | | | | |
| 14 | 2HC... | 4,79×10 ⁻¹¹ | 3,24×10 ⁻⁰⁹ | 7,66×10 ⁻⁰⁸ | 1,23×10 ⁻⁰⁶ | 1,47×10 ⁻⁰⁵ | 8,76×10 ⁻⁰⁵ | 2,76×10 ⁻⁰⁴ |
| 15 | H<C... | 7,95×10 ⁻¹⁵ | 1,15×10 ⁻¹² | 4,82×10 ⁻¹¹ | 1,66×10 ⁻⁰⁹ | 4,72×10 ⁻⁰⁸ | 4,47×10 ⁻⁰⁷ | 1,48×10 ⁻⁰⁶ |
| 16 | >C... | 1,11×10 ⁻¹⁸ | 3,23×10 ⁻¹⁶ | 2,32×10 ⁻¹⁴ | 1,66×10 ⁻¹² | 1,09×10 ⁻¹⁰ | 1,61×10 ⁻⁰⁹ | 5,48×10 ⁻⁰⁹ |
| Алкини | | | | | | | | |
| 17 | HC≡ | 3,36×10 ⁻²⁵ | 5,36×10 ⁻²¹ | 7,69×10 ⁻¹⁸ | 4,13×10 ⁻¹⁵ | 1,05×10 ⁻¹² | 6,02×10 ⁻¹¹ | 8,89×10 ⁻¹⁰ |
| 18 | -C≡ | 3,34×10 ⁻²⁷ | 6,92×10 ⁻²³ | 1,21×10 ⁻¹⁹ | 1,04×10 ⁻¹⁶ | 5,02×10 ⁻¹⁴ | 3,76×10 ⁻¹² | 4,98×10 ⁻¹¹ |
| Арени | | | | | | | | |
| 19 | HC... | 9,87×10 ⁻¹¹ | 5,01×10 ⁻⁰⁹ | 9,62×10 ⁻⁰⁸ | 1,80×10 ⁻⁰⁶ | 3,14×10 ⁻⁰⁵ | 2,00×10 ⁻⁰⁴ | 4,73×10 ⁻⁰⁴ |
| 20 | -C... | 1,21×10 ⁻¹⁴ | 1,21×10 ⁻¹² | 3,86×10 ⁻¹¹ | 1,48×10 ⁻⁰⁹ | 5,90×10 ⁻⁰⁸ | 5,77×10 ⁻⁰⁷ | 1,40×10 ⁻⁰⁶ |
| 21 | ...C... | 1,58×10 ⁻¹² | 1,20×10 ⁻¹⁰ | 3,11×10 ⁻⁰⁹ | 1,01×10 ⁻⁰⁷ | 3,55×10 ⁻⁰⁶ | 3,12×10 ⁻⁰⁵ | 6,93×10 ⁻⁰⁵ |

Відносні мольні частки груп атомів, що містять гетероатоми

| № | Група | Т, К | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Оксигеновмісні групи | | | | | | | | |
| 22 | -OH | $1,03 \times 10^{-20}$ | $1,91 \times 10^{-17}$ | $5,43 \times 10^{-15}$ | $7,45 \times 10^{-13}$ | $5,91 \times 10^{-11}$ | $1,41 \times 10^{-09}$ | $1,13 \times 10^{-08}$ |
| 23 | -O- | $2,18 \times 10^{-36}$ | $2,58 \times 10^{-30}$ | $9,38 \times 10^{-26}$ | $7,69 \times 10^{-22}$ | $2,07 \times 10^{-18}$ | $6,96 \times 10^{-16}$ | $3,58 \times 10^{-14}$ |
| 24 | O $\ddot{\cdot}$ | $4,09 \times 10^{-38}$ | $2,61 \times 10^{-32}$ | $5,97 \times 10^{-28}$ | $3,41 \times 10^{-24}$ | $6,89 \times 10^{-21}$ | $1,83 \times 10^{-18}$ | $7,72 \times 10^{-17}$ |
| 25 | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}=\text{O} \end{array}$ | $1,99 \times 10^{-17}$ | $1,16 \times 10^{-14}$ | $1,39 \times 10^{-12}$ | $7,88 \times 10^{-11}$ | $2,58 \times 10^{-09}$ | $3,51 \times 10^{-08}$ | $2,20 \times 10^{-07}$ |
| 26 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$ | $3,64 \times 10^{-20}$ | $3,78 \times 10^{-17}$ | $6,98 \times 10^{-15}$ | $7,61 \times 10^{-13}$ | $5,43 \times 10^{-11}$ | $1,09 \times 10^{-09}$ | $6,78 \times 10^{-09}$ |
| 27 | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$ | 0,1482 | 0,1483 | 0,1484 | 0,1486 | 0,1492 | 0,1501 | 0,1506 |
| 28 | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{O}- \end{array}$ | 0,0028 | 0,0036 | 0,0042 | 0,0047 | 0,0053 | 0,0057 | 0,0061 |
| 29 | -HC=C=O | $1,35 \times 10^{-17}$ | $6,74 \times 10^{-15}$ | $7,12 \times 10^{-13}$ | $2,97 \times 10^{-11}$ | $6,37 \times 10^{-10}$ | $7,20 \times 10^{-09}$ | $4,85 \times 10^{-08}$ |
| 30 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$ | $4,40 \times 10^{-22}$ | $6,37 \times 10^{-19}$ | $1,50 \times 10^{-16}$ | $1,60 \times 10^{-14}$ | $9,42 \times 10^{-13}$ | $1,90 \times 10^{-11}$ | $1,48 \times 10^{-10}$ |
| Нітрогеновмісні групи | | | | | | | | |
| 31 | -C \equiv N | $2,96 \times 10^{-07}$ | $7,07 \times 10^{-06}$ | $7,67 \times 10^{-05}$ | $7,23 \times 10^{-04}$ | $4,90 \times 10^{-03}$ | $1,16 \times 10^{-02}$ | $1,50 \times 10^{-02}$ |
| 32 | -N=C | $3,16 \times 10^{-18}$ | $3,15 \times 10^{-15}$ | $5,61 \times 10^{-13}$ | $4,67 \times 10^{-11}$ | $1,81 \times 10^{-09}$ | $1,77 \times 10^{-08}$ | $7,52 \times 10^{-08}$ |
| 33 | -NH ₂ | 0,0210 | 0,0210 | 0,0209 | 0,0203 | 0,0159 | 0,0090 | 0,0055 |
| 34 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{NH} \\ \diagdown \end{array}$ | $2,60 \times 10^{-12}$ | $3,91 \times 10^{-11}$ | $2,99 \times 10^{-10}$ | $1,94 \times 10^{-09}$ | $8,97 \times 10^{-09}$ | $1,69 \times 10^{-08}$ | $2,03 \times 10^{-08}$ |
| 35 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N}- \\ \diagdown \end{array}$ | $4,55 \times 10^{-20}$ | $4,36 \times 10^{-18}$ | $1,34 \times 10^{-16}$ | $3,53 \times 10^{-15}$ | $6,46 \times 10^{-14}$ | $2,94 \times 10^{-13}$ | $5,24 \times 10^{-13}$ |
| 36 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array}$ | $3,24 \times 10^{-08}$ | $4,41 \times 10^{-07}$ | $3,15 \times 10^{-06}$ | $2,65 \times 10^{-05}$ | $1,95 \times 10^{-04}$ | $4,22 \times 10^{-04}$ | $4,04 \times 10^{-04}$ |
| 37 | -NO ₂ | $6,92 \times 10^{-59}$ | $5,14 \times 10^{-51}$ | $4,10 \times 10^{-45}$ | $1,55 \times 10^{-40}$ | $5,72 \times 10^{-37}$ | $3,27 \times 10^{-34}$ | $6,44 \times 10^{-32}$ |
| Сульфуровмісні групи | | | | | | | | |
| 38 | -SH | 0,0507 | 0,0508 | 0,0508 | 0,0508 | 0,0507 | 0,0506 | 0,0505 |
| 39 | -S- | $1,05 \times 10^{-09}$ | $8,16 \times 10^{-09}$ | $3,82 \times 10^{-08}$ | $1,74 \times 10^{-07}$ | $7,54 \times 10^{-07}$ | $1,96 \times 10^{-06}$ | $3,09 \times 10^{-06}$ |
| 40 | S $\ddot{\cdot}$ | $1,98 \times 10^{-09}$ | $2,71 \times 10^{-08}$ | $1,93 \times 10^{-07}$ | $1,22 \times 10^{-06}$ | $6,90 \times 10^{-06}$ | $2,22 \times 10^{-05}$ | $4,20 \times 10^{-05}$ |
| 41 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{SO} \\ \diagdown \end{array}$ | $2,42 \times 10^{-24}$ | $8,01 \times 10^{-22}$ | $6,22 \times 10^{-20}$ | $1,84 \times 10^{-18}$ | $2,75 \times 10^{-17}$ | $2,52 \times 10^{-16}$ | $1,59 \times 10^{-15}$ |
| 42 | $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{SO}_2 \\ \diagdown \end{array}$ | $7,18 \times 10^{-21}$ | $2,24 \times 10^{-19}$ | $2,94 \times 10^{-18}$ | $1,59 \times 10^{-17}$ | $4,73 \times 10^{-17}$ | $1,48 \times 10^{-16}$ | $5,36 \times 10^{-16}$ |
| Циклічні оксигеновмісні радикали | | | | | | | | |
| 43 | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$ | $1,65 \times 10^{-35}$ | $5,22 \times 10^{-30}$ | $6,99 \times 10^{-26}$ | $1,73 \times 10^{-22}$ | $1,26 \times 10^{-19}$ | $1,98 \times 10^{-17}$ | $8,56 \times 10^{-16}$ |
| 44 | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{C}-\text{C} \end{array}$ | 0,1360 | 0,1361 | 0,1361 | 0,1358 | 0,1337 | 0,1301 | 0,1282 |

Для прикладу вибираємо структурні елементи, які складають насичені вуглеводні (в таблиці 1 рядки 1-4). Із зростанням температури відносна кількість метилової групи (-CH₃) зменшується, разом із зростанням інших структур, інколи на 6 порядків (-CH). Для черемхітового вугілля динаміка ідентична, проте загальна відносна кількість структурних одиниць інакше: вміст всіх алканових структур для вугілля вдвічі менший,

порівняно із бітумом менілітових сланців, що пов'язано із значною різницею у вмісті елементів. Зменшення кількості метильних груп логічно пояснюється з їхнім відщепленням у метан в процесі метанізації із зануренням в осадову товщу.

Показовим є аналіз змін, що відбуваються із елементами, складниками ароматичних структур. Для бітумів, так само, як й вугілля черемхітового, актуальною є залежність, відображена на рис. 5.

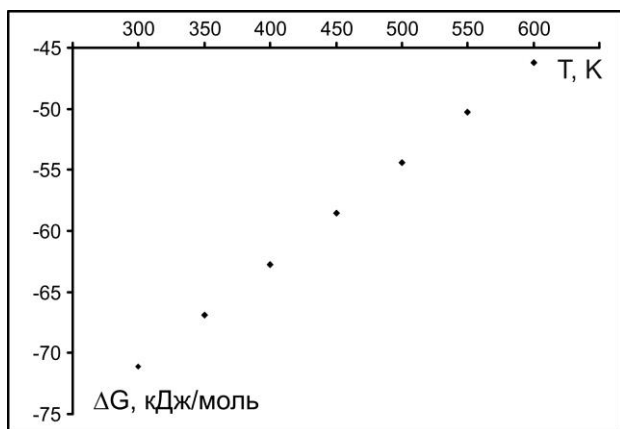


Рис. 3. Залежність енергії Гіббса 1 моль POP від температури

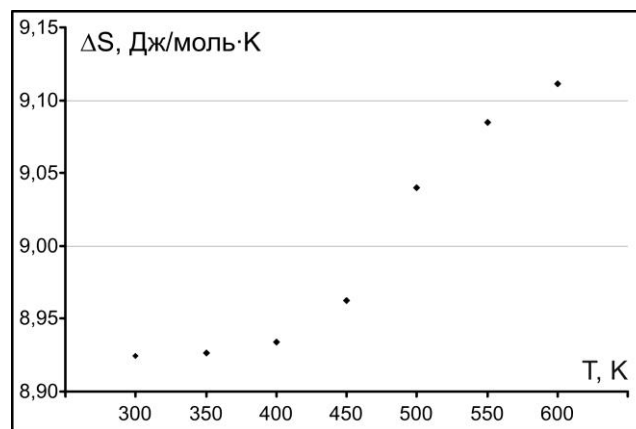


Рис. 4. Залежність ентропії 1 моль POP від температури

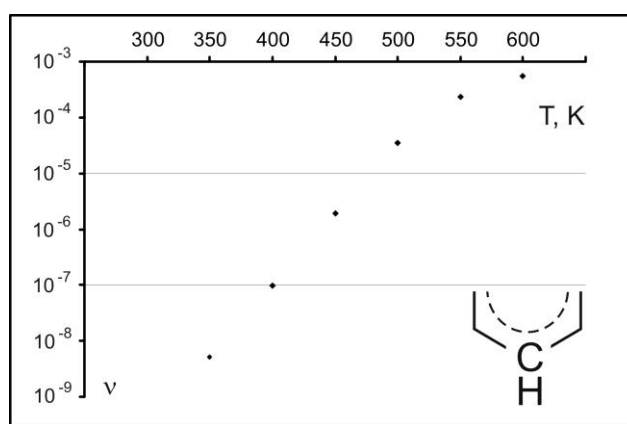


Рис. 5. Вміст структурного елемента 19, як функція температури

Тобто, із зануренням породи, що вміщує ВР, відбувається процес циклізації вуглеводневого компонента. Цей розрахунок добре узгоджується з дослідженнями складу органічної частини бурого вугілля в процесі його температурної трансформації без доступу кисню [14], проведеними методами ЯМР з використанням методики MAS (magic-angle spinning), що застосовується при дослідженні твердих об'єктів. Ідентичні дані отримані методами Фур'є-ІЧ-спектроскопії [10]. У публікації [14] при застосуванні до зразків магнітного резонансу ^{13}C разом із протонним магнітним резонансом, із збільшенням температури трансформації спостерігалась чітка тенденція до зменшення та зникнення піків структурних елементів, які складають алкани. В таблиці 1 навпаки, загальна кількість алканів збільшується. Ця відмінність пояснюється тим, що в наших розрахунках на цьому етапі не враховувалась рівновага із газовою складовою.

Серед гетероатомних структур, що містять Сульфур, розрахунок проведено для п'яти сірковмісних груп (таблиця 2, рядки 38 – 42): циклічної сірки (спряженої), сульфідної, тіолової, сульфоксидної та сульфонової. Встановлено, що сульфоксидна та сульфонова група практично не предста-

влена в структурі ВР. Зі зростанням температури найшвидше збільшується вміст циклічної сірки – на 4 порядки (рисунок 6).

Отримані результати ілюструють відомий факт, що окисаційне знесірчування вугілля відбувається важко, із великими втратами вуглецю. Адже замість того, щоб утворювати тіолові групи, які легко "відриваються" під час високотемпературного оброблення, сірка вбудовується в циклічні сполуки, заміщуючи вуглець, а також утворює сульфідні містки.

Одержані відомості порівнювались із дослідженнями форм Сульфуру у вивчених вуглеводах [12, 13], виконаними методами Фур'є-ІЧ-спектроскопії. Спостерігалась певна відмінність між розрахованими та експериментально одержаними даними. Так, всіма дослідженнями показано, що переважачою формою Сульфуру є ароматична (84% з них – тіофен). Аліфатичні форми займають другу позицію. Натомість, розрахунок надає обернену залежність, в якій суттєво переважає одна аліфатична група атомів – тіолова (рисунок 7).

Різниця між розрахунком та експериментом, подібно до відмінностей в структурах, що складають алкани, пояснюється відсутністю у розрахунковій схемі одного з важливих газів – сірководню.

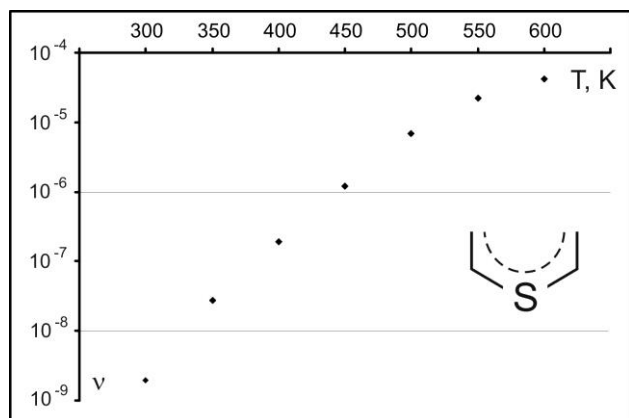


Рис. 6. Вміст циклічного Сульфуру в POP, як функція температури

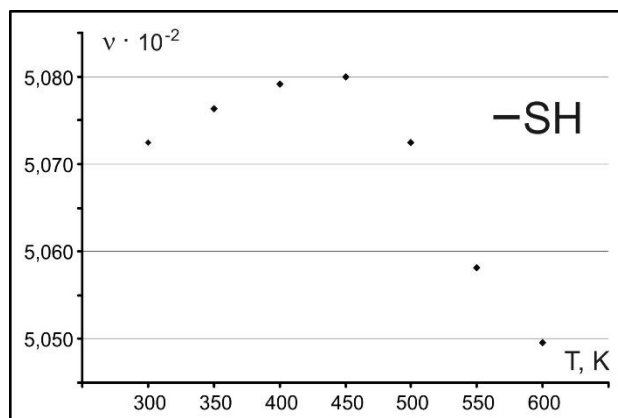


Рис. 7. Вміст тіолової групи в POP, як функція температури

Окремо розглянуті структури ВР, що містять Нітроген (таблиця 2, рядки 31 – 37). Встановлено, що із зростанням температури, відбувається перерозподіл Нітрогену між атомарними групами. Вагомо зростає частка ароматичного Нітрогену (рисунок 7), що цілком корелюється із експериментальними даними [12, 15] (рисунок 8).

Із зростанням температури спостерігається

суттєве збільшення відносної частки нітрильної групи. Одночасно відбувається симетричний процес руйнації аліфатичних структур, що містять Нітроген, наприклад первинної аміногрупи. Загалом, її надлишковий вміст, подібно до попередньо розглянутих сульфуровмісних структур, логічно пояснюється потребою у включенні до розрахункової схеми газів.

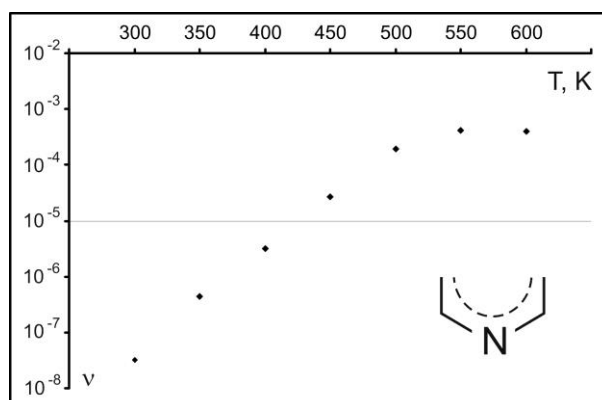


Рис. 8. Вміст циклічного Нітрогену в POP, як функція температури

Висновки. Формалізм Джейнса можна успішно застосувати для встановлення розподілу атомарних груп викопних вуглеводнів, при зміні геологічних умов – зануренні та піднятті, які супроводжуються корекцією термобаричних умов. Гнучкість методу дозволяє розширювати перелік умов (рівняння 2-3), у тому числі додавати інші структурні одиниці або окремі компоненти системи: гази, рідкі вуглеводні тощо.

Оскільки метод індетерміністичний, і використовує математичний апарат статистики, то результатами розрахунків можуть бути не тільки

середні значення вмісту компонентів і атомарних груп, але й їхні дисперсії та кореляції. Ця особливість дає змогу розглядати геологічний об'єкт, у тому числі бітуми аргілітів Українських Карпат, у сукупності всіх його властивостей (тиск, склад, фазовий стан компонентів, температура, еволюція складових).

Теоретично одержаний характер перерозподілу груп атомів ВР загалом збігається з відомими експериментальними даними та відповідає сучасним уявленням про хімічні зміни викопних вуглеводнів в процесі катагенезу.

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

Література

1. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України [Текст] / [Ю.З. Крупський, І.М. Куровець, Ю.М. Сеньковський та ін.]. – Київ: Ніка-Центр, 2014. – 400 с.

2. Koltun, Y. *Petroleum generation in the ukrainian external carpathians and the adjacent foreland [Текст]* / Koltun, Y., Espitalié, J., Kotarba, M., Roure, F., Ellouz, N., Kosakowski, P. // *Journal of Petroleum Geology*. – 1998. – №21(3). – pp.265-288.
3. Менілітові сланці Карпат [Текст] / [В.Б. Порфір'єв, Й.В. Грінберг, М.Р. Ладіженський та ін.] – Київ: АН УРСР, 1963. – 136 с.
4. Carrie, J. *Standardisation of Rock-Eval pyrolysis for the analysis of recent sediments and soils [Текст]* / Carrie, J., Sanei, H. Stern, G. // *Organic Geochemistry*. – 2012. – № 46. – P. 38-53.
5. Sykes, R. *Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis [Текст]* / Sykes, R. Snowdon, L. // *Organic Geochemistry*. – 2002. – № 33(12). – P. 1441-1455.
6. Delvaux, D. *Comparative Rock-Eval pyrolysis as an improved tool for sedimentary organic matter analysis [Текст]* / Delvaux, D., Martin, H., Leplat, P., Paulet, J. // *Organic Geochemistry*. – 1990. – № 16(4-6). – P. 1221-1229.
7. Чекалюк Э. Б. *Термодинамические основы теории минерального происхождения нефти [Текст]* / Э. Б. Чекалюк. – Киев: Наукова думка, 1971. – 256 с.
8. Хоха Ю. В. *Термодинаміка глибинних вуглеводнів у прогнозуванні регіональної нафтогазоносності [Текст]* / Ю. В. Хоха. – Київ: Наукова думка, 2014 – 57 с.
9. Карпов И. К. *Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии [Текст]* / И. К. Карпов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 247 с.
10. Xin, H. *Structural characteristics of coal functional groups using quantum chemistry for quantification of infrared spectra [Текст]* / Xin, H., Wang, D., Qi, X., Qi, G., Dou, G. // *Fuel Processing Technology*. – 2014 – № 118. – P. 287-295.
11. Chen, Y *Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy [Текст]* / Chen, Y., Mastalerz, M., Schimmelmann, A. // *International Journal of Coal Geology*. – 2012. – № 104. – P. 22-33.
12. Li, W. *Sulfur and nitrogen in the high-sulfur coals of the Late Paleozoic from China [Текст]* / Li, W., Tang, Y., Zhao, Q., Wei, Q. // *Fuel*. – 2015. – № 155. – P. 115-121.
13. Qin, Z. *Study on occurrence of sulfur in different group components of Xinyu clean coking coal [Текст]* / Qin, Z., Zhang, H., Dai, D., Zhao, C., Zhang, L. // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. – 2014. – № 42(11). – P. 1286-1294.
14. Lin, X. *Insights into the functional group transformation of a chinese brown coal during slow pyrolysis by combining various experiments [Текст]* / Lin, X., Wang, C., Ideta, K., Miyawaki, J., Nishiyama, Y., Wang, Y., Yoon, S., Mochida, I. // *Fuel*. – 2014. – № 118. – P. 257-264.
15. Kong, J. *Analysis of extractable basic nitrogen compounds in Buliangou subbituminous coal by positive-ion ESI FT-ICR MS [Текст]* / Kong, J., Wei, X., Yan, H., Li, Z., Zhao, M., Li, Y., Zong, Z. // *Fuel*. – № 159. – P. 385-391.
16. Helgeson, H. *A chemical and thermodynamic model of oil generation in hydrocarbon source rocks [Текст]* / Helgeson, H., Richard, L., McKenzie, W., Norton, D., Schmitt, A. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2009. – № 73(3). – P. 594-695.
17. Трайбус М. *Термостатика и термодинамика [Текст]* / М. Трайбус. – Москва: Энергия, 1970. – 504 с.
18. Гюльмалиев А. М. *Теоретические основы химии угля [Текст]* / А.М. Гюльмалиев, Г.С. Головин, Т.Г. Гладун. – Москва: Издательство Московского Государственного Университета, 2003. – 556 с.
19. Хоха Ю. *Термодинамічна модель будови органічної речовини вугілля за його елементним складом [Текст]* / Хоха Ю., Любчак О., Храмов В. // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2013. – № 1-2 (162-163). – С. 71-78.
20. van Krevelen, D. *Estimation of the free enthalpy (Gibbs free energy) of formation of organic compounds from group contributions [Текст]* / van Krevelen, D., Chermin, H. // *Chemical Engineering Science*. – 1951. – № 1(2). – P. 66-80.
21. Seewald, J. *Evidence for metastable equilibrium between hydrocarbons under hydrothermal conditions [Текст]* / Seewald, J. // *Nature*. – 1994. – № 370(6487). – P.285-287.

Olexandr Lyubchak,

PhD (Geology), Senior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, 3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,
e-mail: lubchak1973@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>;

Yury Khoha,

PhD (Geology), Senior Researcher,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: khoha_yury@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

Myroslava Yakovenko,

PhD (Geology), Scientific Secretary,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

CORRELATION OF THE HYDROCARBON COMPONENTS STRUCTURAL ELEMENTS OF THE EASTERN CARPATHIANS ARGILLITES BY THE JAYNES' FORMALISM

Purpose. On the territory of the Ukrainian Eastern Carpathians there are sedimentary rocks characterized by a great content of hydrocarbons. Among them, the so-called "menilite shale" deserves special attention. In reality, "menilite shale" is black and dark gray argillites. They form the bulk of the Menilite suite of oligocene of the Precarpathian Foredeep Inner zone and the Plicate Carpathians.

These argillites represent a convenient and easily accessible object for study, as there are numerous exits of these rocks on the surface in the Eastern Carpathians. The menilite suite is a massive formation, the thickness of which sometimes reaches 1500 m.

Our aim is to study the structure of the bitumen of the menilite suite argillites and to calculate redistribution of structural elements in hydrocarbons, which occurs with increasing temperature.

Method. In order to perform the work, we have applied methods of equilibrium thermodynamics and Jaynes' formalism. The basis for algorithms creating was thermodynamics of maximum entropy, which combines techniques from Claude Shannon's information theory, Bayesian probability, and the principle of maximum entropy.

Based on Jaynes's formalism, we have developed a method for determining the quantity of structural elements in black argillites bitumen. Output data for calculation was layers temperature and elemental composition of the sample. The calculations were carried out within the temperature range 300-600 K (27-327 °C).

Results. The result of calculation is the distribution of atoms, which composes bitumen in functional groups, depending on the temperature. It is established that with increasing temperature the value of Gibbs free energy increases with linear dependence, along with nonlinear growth of entropy.

As the temperature rises, relative amount of the methyl group (-CH₃) decreases, together with the increase in the number of other components of alkanes.

It has also been established that the process of cyclization of hydrocarbon compounds takes place with the submergence of the rock. It is shown that among the sulfur-containing groups the content of cyclic sulfur is increasing most rapidly with increasing temperature.

As the temperature increases, a significant rise in the relative proportion of the nitrile group is observed. Simultaneously, the process of aliphatic structures destruction containing Nitrogen (for example a primary amino group) is occurring.

Scientific novelty and practical significance. We show that the Jaynes' formalism can be successfully applied to establishing redistribution of atomic groups of fossil hydrocarbons, which occurs in changing geological conditions – submergence and emergence. Flexibility of the method allows us to expand the list of conditions, including adding other structural units or individual components: gases, liquid hydrocarbons, etc.

Keywords: menilite shale, Jaynes' formalism, bitumen, functional groups, Gibbs free energy, alkanes, hydrocarbons cyclization, heteroatom's group.

References

1. *Carrie, J., Sanei, H., & Stern, G. (2012). Standardisation of Rock–Eval pyrolysis for the analysis of recent sediments and soils. Organic Geochemistry, 46, 38-53. doi:10.1016/j.orggeochem.2012.01.011*
2. *Chekalyuk E. B. (1971). Termodinamicheskiye osnovy teorii mineralnogo proiskhozhdeniya nefiti [Thermodynamic principles of the theory of oils mineral origin]. – Kiyev, Ukraine: Naukova dumka, 256.*

3. Chen, Y., Mastalerz, M., & Schimmelmann, A. (2012). Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy. *International Journal of Coal Geology*, 104, 22-33. doi:10.1016/j.coal.2012.09.001
4. Delvaux, D., Martin, H., Leplat, P., & Paulet, J. (1990). Comparative Rock-Eval pyrolysis as an improved tool for sedimentary organic matter analysis. *Organic Geochemistry*, 16(4-6), 1221-1229. doi:10.1016/0146-6380(90)90157-u
5. Gyulmaliyev A. M., Golovin G. S., Gladun T.G. (2003) *Teoreticheskiye osnovy khimii uglia [Theoretical foundations of coal chemistry]* Moskva, Russian Federation, 556.
6. Helgeson, H. C., Richard, L., Mckenzie, W. F., Norton, D. L., & Schmitt, A. (2009). A chemical and thermodynamic model of oil generation in hydrocarbon source rocks. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 73(3), 594-695. doi:10.1016/j.gca.2008.03.004
7. Karpov I. K. (1981) *Fiziko-khimicheskoye modelirovaniye na EVM v geokhimii [Physical-chemical computer modeling in geochemistry]*. – Novosibirsk, Russian Federation: Nauka, 247.
8. Khokha Yu. V. (2014) *Termodinamika hlybynykh vuhlevodniv u prohnozuvanni rehiona-lnoi naftohazonosnosti [Thermodynamics of abyssal hydrocarbons in the forecast of oil and gas deposits]*. Kyiv, Ukraine: Naukova dumka, 57.
9. Khokha Yu., Liubchak O., Khramov V. (2013) *Termodinamichna model budovy orhanichnoi rechovyiny vuhillia za yoho elementnym skladom [Thermodynamic model of the coals organic matter structure according to its element composition]*. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1-2 (162-163), 71-78.
10. Koltun Yu., Espitalie J., Kot M. (1998). Petroleum Generation In The Ukrainian External Carpathians And The Adjacent Foreland. *Journal of Petroleum Geology*, 21, 265-288. doi:10.1306/bf9ab7a7-0eb6-11d7-8643000102c1865d
11. R. Sykesa, R. Snowdon (2002). Guidelines for assessing the petroleum potential of coal source rocks using Rock-Eval pyrolysis. *Organic Geochemistry*, 33, 1441-1455. doi: 10.1016/S0146-6380(02)00183-3
12. Kong, J., Wei, X., Yan, H., Li, Z., Zhao, M., Li, Y., & Zong, Z. (2015). Analysis of extractable basic nitrogen compounds in Buliangou subbituminous coal by positive-ion ESI FT-ICR MS. *Fuel*, 159, 385-391. doi:10.1016/j.fuel.2015.06.091
13. Van Krevelen D. W., Chermin H. A. G. (1951). Estimation of the free enthalpy (Gibbs free energy) in formation of organic compounds from group contributions. *Chemical Engineering Science*, 1(2), 66-80. doi: 10.1016/0009-2509(51)85002-4
14. Krupskiy Yu. Z., Kurovets I. M., Senkovskiy Yu. M. (2014) *Netradytsiini dzhherela vuhlevodniv [Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine]*. Kyiv, Ukraine: Nika-Tsentr, 400.
15. Porfiriev V. B., Hrinberh Y. V., Ladyzhenskiy M. R. (1963) *Menilitovi slantsi Karpat [Carpathians menilite shale's]*. Kyiv, Ukraine: AN URSR, 136.
16. Li, W., Tang, Y., Zhao, Q., & Wei, Q. (2015). Sulfur and nitrogen in the high-sulfur coals of the Late Paleozoic from China. *Fuel*, 155, 115-121. doi:10.1016/j.fuel.2015.04.002
17. Lin, X., Wang, C., Ideta, K., Miyawaki, J., Nishiyama, Y., Wang, Y., Mochida, I. (2014). Insights into the functional group transformation of Chinese brown coal during slow pyrolysis by combining various experiments. *Fuel*, 118, 257-264. doi:10.1016/j.fuel.2013.10.081
18. Seewald, J. S. (1994). Evidence for metastable equilibrium between hydrocarbons under hydrothermal conditions. *Nature*, 370(6487), 285-287. doi:10.1038/370285a0
19. Traybus M. (1970) *Termostatika i termodinamika [Thermostatistics and Thermodynamics]*. Moskva, Russian Federation: Energiya, 504.
20. Qin, Z., Zhang, H., Dai, D., Zhao, C., & Zhang, L. (2014). Study on sulfur occurrence in different group components of Xinyu clean coking coal. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 42(11), 1286-1294. doi:10.1016/s1872-5813(14)60050-5
21. Xin, H., Wang, D., Qi, X., Qi, G., & Dou, G. (2014). Structural characteristics of coal functional groups using quantum chemistry for quantification of infrared spectra. *Fuel Processing Technology*, 118, 287-295. doi:10.1016/j.fuproc.2013.09.011

ГЕОГРАФІЯ

UDC 551.582.2(477.8)

Vasyl Ivanovych Zatula,
PhD (Geography), Associate Professor,
Department of Meteorology and Climatology of Faculty of Geography,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: vaszatula@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5598-0200>

DECOMPOSITION AND MODELLING OF THE ANNUAL CYCLE OF METEOROLOGICAL VARIABLES IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

В даній роботі аналізуються структурні особливості сезонного ходу ряду метеорологічних величин в районі Українських Карпат. В якості таких величин розглядалися температура повітря, кількість атмосферних опадів, дефіцит насичення, відносна вологість повітря, парціальний тиск водяної пари, атмосферний тиск на рівні станції та на рівні моря, швидкість вітру. При цьому сам річний хід інтерпретувався як суперпозиція шести гармонік з періодом від 2 місяців до 1 року.

Найважливіші результати отримано на основі аналізу матеріалів спостережень 33 метеорологічних станцій України, 22 з яких розташовано безпосередньо в Карпатах. Дослідження ґрунтується на відомостях про середні місячні значення семи метеорологічних величин за кліматологічний стандартний період 1961-1990 рр. Приховані періодичності в сезонних коливаннях цих величин виявлялися та оцінювалися з допомогою методу гармонічного аналізу.

Основну увагу приділено параметрам першої (річної) та другої (піврічної) гармонік, якими в середньому пояснюється близько 94 % загальної дисперсії метеорологічних величин. При розгляді сезонних коливань температури повітря, дефіциту насичення та парціального тиску водяної пари достатньо однієї річної гармоніки. Аналіз коливань інших величин вимагає враховувати і піврічну гармоніку. Гармоніки вищих порядків (з третього по п'ятий) необхідно брати до уваги при аналізі відносної вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску на рівні станції та швидкості вітру.

Як виявилось, структура сезонного ходу метеорологічних величин на гірських станціях і в передгір'ї помітно відрізняється. Для деяких із них встановлено статистично значущі орографічні ефекти, що виражаються в запізнюванні або випередженні фази річної гармоніки з висотою. Близькими є фази цієї гармоніки для метеорологічних величин, пов'язаних між собою прямими залежностями, а от величини, що пов'язані оберненими зв'язками, зазвичай коливаються у протифазі.

Ключові слова: річний хід; гармоніки; амплітуда; фаза; моделі; Українські Карпати; орографічні ефекти.

В. И. Затула. ДЕКОМПОЗИЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОДОВОГО ХОДА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В УКРАИНСКИХ КАРПАТАХ. В данной работе анализируются структурные особенности сезонного хода ряда метеорологических величин в районе Украинских Карпат. В качестве таких величин рассматриваются температура воздуха, количество атмосферных осадков, дефицит насыщения, относительная влажность воздуха, парциальное давление водяного пара, атмосферное давление на уровне станции и на уровне моря, скорость ветра. При этом сам годовой ход интерпретировался как суперпозиция шести гармоник с периодом от 2 месяцев до 1 года.

Наиболее важные результаты получены на основе анализа материалов наблюдений 33 метеорологических станций Украины, 22 из которых расположены непосредственно в Карпатах. Исследование базируется на ведомостях о средних месячных значениях семи метеорологических величин за климатологический стандартный период 1961-1990 гг. Скрытые периодичности в сезонных колебаниях этих величин выявлялись и оценивались с помощью метода гармонического анализа.

Основное внимание уделяется параметрам первой (годовой) и второй (полугодовой) гармоник, которыми в среднем объясняется около 94 % общей дисперсии метеорологических величин. При рассмотрении сезонных колебаний температуры воздуха, дефицита насыщения и парциального давления водяного пара достаточно одной годовой гармоникой. Анализ колебаний других величин требует учета и полугодовой гармоникой. Гармоник вышних порядков (с третьего по пятый) необходимо принимать во внимание при анализе относительной влажности воздуха, количества атмосферных осадков, атмосферного давления на уровне станции и скорости ветра.

Как оказалось, структура сезонного хода метеорологических величин на горных станциях и в предгорье заметно отличается. Для некоторых из них обнаружены статистически значимые орографические эффекты, которые выражаются в запаздывании или опережении фазы годовой гармоникой с высотой. Близкими есть фазы этой гармоникой для метеорологических величин, связанных между собой прямыми зависимостями, а вот величины, связанные обратными связями, обычно колеблются в протифазе.

Ключевые слова: годовой ход; гармоникой; амплитуда; фаза; модели; Украинские Карпаты; орографические эффекты.

Introduction. Effective use of climatic resources requires integrated consideration of climatic conditions fluctuations stipulated by the processes of heat, water, and atmospheric circulation. Most of them may be repeated in time with certain regularity. Oscillations are quasiperiodic in case of continuous changes of its amplitudes and periods. However, fluctuations with a clear periodic nature are more

interesting. Daily and annual cycles play especially important role in nature. Data on fluctuations of both types is an integral part of an area's climatological characteristic.

Formulation of the problem. At all stages of atmospheric sciences development, considerable attention has been paid to the annual cycle of meteorological variables (MVs) which is inherent in the time

series of these sciences. Similarly to a daily cycle, it is generated by the Earth's climatic system influenced by periodic fluctuations in solar radiation supply to the upper atmosphere. Annual fluctuations of some MVs (atmospheric pressure, in the first place) may be triggered by gravitational interaction between the Earth and the Sun, however, they are of secondary importance.

Annual cycle analysis is usually based on contrasting long-term average seasonal (or monthly) values of variables or their anomalies. Obtaining the whole complex of data has traditionally completed the annual cycle analysis, which does not always meet practical needs. That is why in search of more accurate and informative annual cycle indicators some special research methods have been commonly applied lately, with the method of harmonic analysis as one of them. It is interesting that works on its use in meteorology date back as far as the end of the 19th century [1].

Analysis of recent research and publications.

In some works, only the annual harmonic conditioned by the Earth's rotation around the Sun was considered a basic component of the annual cycle of MVs. In particular, sinusoidal approximation of the annual cycle was used to estimate long-term changes in average daily air temperature in the territory of Russia and the countries it borders on [31]. In other works, the semiannual harmonic was considered in addition to the annual harmonic, with the focus on the former one [5, 9, 16, 22, 30]. In general, seasonal fluctuations of MVs are more correctly described by the first harmonics which complement each other, not by one harmonic [3, 4, 12, 14].

The importance and universality of the annual cycle as a natural periodical process cannot be questioned. Thus, in extratropical latitudes of the Northern hemisphere it normally determines over 90% of the total variance of the air temperature series [10], which makes it a major climatic signal. Spatial distribution of the contribution the annual cycle makes to the total variance of this variable and some other variables for a considerable part of the World Ocean is shown in [12]. In [13] not only spatial distribution of the annual harmonic characteristics for air temperature over the whole of Europe but also their relation to North Atlantic Oscillation was shown.

A comparative characteristic of seasonal fluctuations of various MVs for a limited number of stations in Ukraine is given in [18]. Then, the annual cycle of these variables was found to be noticeably different, conditioned by the heterogeneity of the underlying surface construction which varies from region to region. Along with that, the issue of similarity or difference of the climatic conditions of these variables in the territory of some particular mountainous country remains unresolved. The author did not consider this

question in subsequent papers [17, 19-20], devoted to the identification of hidden periodicities of MVs seasonal oscillations in certain regions of the East European Plain.

Further on, we consider the climatic conditions of the Ukrainian Carpathians – a separate link of a huge (about 1,500 km long) arc of the Carpathian Mountains located in Ukraine. Mountain ridges, divided by longitudinal depressions and demarcated by deep transverse valleys, stretch for 280 km from northwest to southeast, and 100-110 km from northeast to southwest. The area of the mountain system is about 24,000 sq km, and together with the Ciscarpathian Upland and Transcarpathian Lowland – 37,000 sq km. The Ukrainian Carpathians are mainly the mountains of medium elevation, with the highest points of 1,000-1,200 m. The height of six peaks in a mountain range of Chornohora exceeds 2,000 m, with Mount Hoverla (2,061 m) being the highest peak of Ukraine. However, since they do not reach the snow line, there are no evident traces of young glaciation. The nature of the region is very similar to that of Western Europe's. The climate in the Ukrainian Carpathians is humid and comparatively warm with the pronounced vertical zonation [29].

Despite their territorial compactness, the Ukrainian Carpathians as a separate taxonomic unit of physical and geographical zoning of the Carpathian mountainous country are determined by a considerable variety of radiation and circulation conditions stipulating climate formation. On the whole, the climate of the Carpathians can be considered well-studied, which is proven by many monographs dedicated to it [15, 24, 27]. At the same time, amplitude-phase characteristics of even basic MVs of this area have hardly ever been explored.

Purpose of the article. The main aim of this work is to establish a consistent pattern of the annual cycle of several MVs on the territory of Ukrainian Carpathians by means of harmonic analysis. Special attention was paid to spatial arrangement of annual cycle peculiarities.

Data and methods. This research is based on the average monthly values (climatological normals) of seven MVs in the Ukrainian Carpathians within a standard climatological period of 1961-1990. This observation-based data have been provided by 22 weather stations located in the considered region (Fig. 1, red marks). Moreover, the data of another 11 neighboring stations were used in the construction of maps (Fig. 1, white marks). The basic results have been obtained with the harmonic analysis method applied to the average monthly values of such MVs as air temperature, some characteristics of air humidity, monthly sums of precipitations, wind speed, and station level pressure. The last variable has been opted for due to the completeness of data (data on sea level

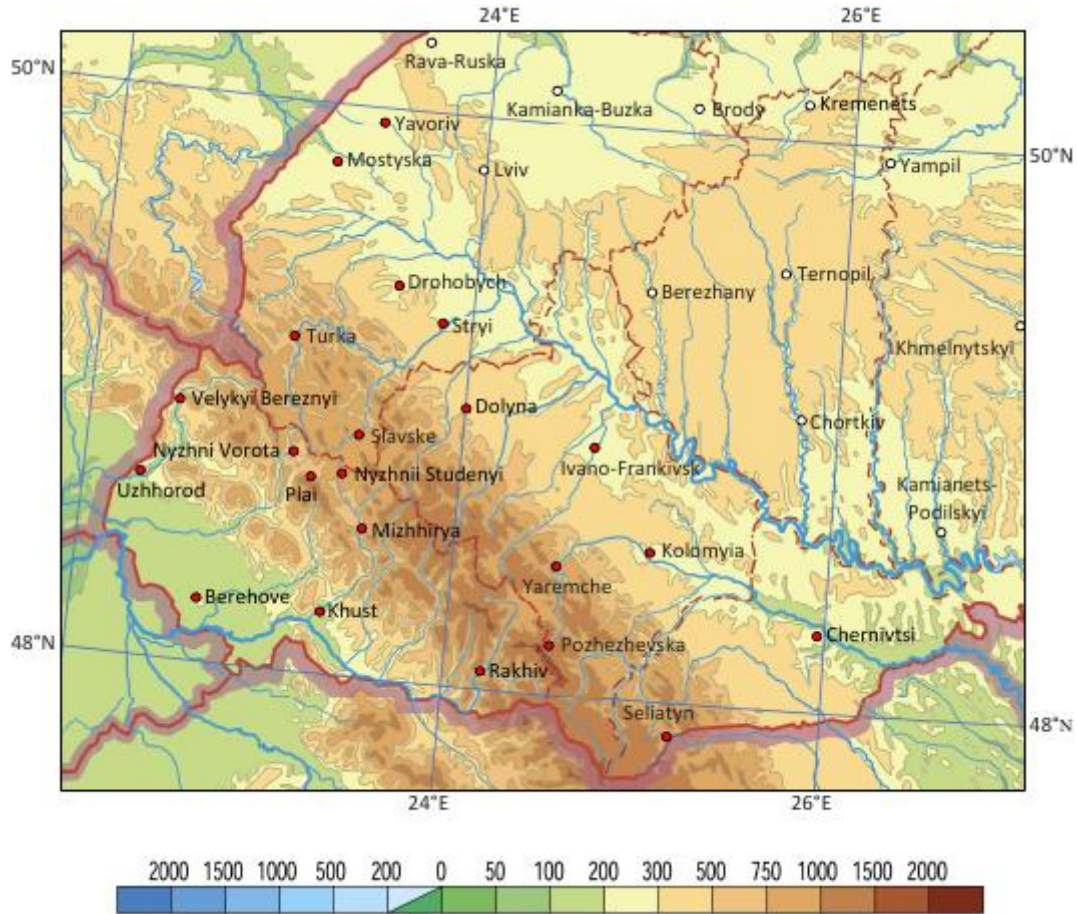


Fig. 1. A network of weather stations in the Ukrainian Carpathians and the adjacent areas of the East European Plain

pressure for stations with the highest hypsometric position is not published in reference literature on climatology).

Mathematically, the annual cycle can be interpreted as a complex (polyharmonic) fluctuation of an MV during a year, with its general features described by the first (fundamental) harmonic that will be completed by fluctuations caused by the second and higher order harmonics. The last harmonics can be viewed as the overtones of the annual cycle since their frequencies are a multiple of the fundamental frequency.

Implicit frequency in seasonal fluctuations of MV monthly values were revealed and estimated with the use of harmonic analysis method, whose classical scheme implies that any value can be presented as an arithmetical mean and a finite amount of harmonics [7,11, 23]:

$$x_t = \bar{x} + \sum_{i=1}^{n/2} \left[A_i \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) + B_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right] \quad (1)$$

where x_t is mean value for month t ($t = 1, 2, \dots, 12$); \bar{x} – mean annual value of MV; i – the ordinal number of a harmonic; $n = 12$ – the original series length.

The unknown coefficients A_i and B_i were calculated by the formulas:

$$A_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[x_t \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right], \quad (2)$$

$$B_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[x_t \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right]. \quad (3)$$

For the last ($i = n/2$) harmonic $A_i = 0$, while B_i was halved.

The amplitude of a harmonic is its important characteristic

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}. \quad (4)$$

Periodic fluctuations of MV, conditioned by a particular harmonic, were presented as the product

$$C_i \cos\left[\frac{2\pi}{n}(t - t_i)\right], \quad (5)$$

where

$$t_i = \frac{n}{2\pi i} \arctg(A_i/B_i) - \quad (6)$$

the phase, that is time when the i -th harmonic reaches its maximum (month). The necessary guidelines for choosing the correct phase value outside the main

domain of the t_i for different values of the Fourier coefficients can be found in [23].

The theory of harmonic analysis shows that the variance due to a single harmonic is $C_i^2/2$, except for the last harmonic for which its value is twice as big. Thus, the contribution a single harmonic makes to the total variance of MV can be found by the formula

$$f_i = \frac{C_i^2}{2\sigma^2} \cdot 100, \quad (7)$$

where σ^2 is the total variance. For the last harmonic value f_i is doubled.

Spatial localization of some features of climatic conditions was evaluated with the use of regression analysis.

Presentation of the main research material.

The use of standard climate indicators has methodologically limited this work to covering a small subrange of climatic conditions fluctuations, with the period varying from 2 to 12 months. Fluctuations with the period longer than 12 months as well as fluctuations of a synoptic scale were not covered by the

study. At the same time, this made it possible to obtain amplitude-phase characteristics of the annual harmonic along with five more reference harmonics with multiple frequencies.

In a study with the use of harmonic analysis, a special attention is paid to the amplitude of the most significant harmonics. However, amplitude characteristics of particular harmonics for different MVs will vary not only in the order of their values but also in their dimensions. Thus, when cross analyzing and comparing the revealed frequencies of these values indicator f_i should be used (Table 1).

According to Table 1, the first, or fundamental, harmonics play the leading role in seasonal fluctuations of all variables (the average value $f_1 > 50\%$). A physical nature of these fluctuations has already been considered. It is evident and doesn't need any additional explaining. Generally, in 79 cases out of 142 it is the annual harmonics that determine more than 90% of the total variance. Their contribution to fluctuations of air temperature (99.4%), saturation deficit (98.8%), and water vapour pressure (98.6%) can hardly be overestimated.

Table 1

Main parameters average estimation of particular harmonics in some MVs in the Ukrainian Carpathians

| Meteorological variable | Harmonic | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------|------|------|
| | 1-st | 2-nd | 3-rd | 4-th | 5-th | 6-th |
| | Period of oscillations, months | | | | | |
| | 12 | 6 | 4 | 3 | 2.4 | 2 |
| amplitude of harmonic: | | | | | | |
| Air temperature, °C | 10.62 | 0.70 | 0.24 | 0.23 | 0.11 | 0.05 |
| Sum of precipitations, mm | 31.34 | 17.59 | 4.03 | 4.31 | 2.57 | 0.80 |
| Saturation deficit, hPa | 2.48 | 0.13 | 0.15 | 0.12 | 0.05 | 0.02 |
| Relative humidity, % | 4.81 | 1.50 | 0.59 | 0.93 | 0.29 | 0.13 |
| Water vapour pressure, hPa | 5.30 | 0.59 | 0.06 | 0.19 | 0.04 | 0.02 |
| Station level pressure, hPa | 2.59 | 0.47 | 0.85 | 0.20 | 0.59 | 0.18 |
| Wind speed, m/s | 0.52 | 0.12 | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.03 |
| contribution a single harmonic makes to the total variance of MV, %: | | | | | | |
| Air temperature | 99.43 | 0.44 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | 0.00 |
| Sum of precipitations | 67.61 | 27.50 | 1.77 | 2.19 | 0.77 | 0.15 |
| Saturation deficit | 98.79 | 0.31 | 0.39 | 0.33 | 0.15 | 0.03 |
| Relative humidity | 81.26 | 8.95 | 2.92 | 5.33 | 1.21 | 0.33 |
| Water vapour pressure | 98.60 | 1.24 | 0.02 | 0.13 | 0.01 | 0.00 |
| Station level pressure | 79.45 | 3.55 | 10.51 | 0.62 | 4.92 | 0.94 |
| Wind speed | 82.24 | 8.63 | 5.24 | 1.19 | 2.05 | 0.65 |
| mean | 86.77 | 7.23 | 2.99 | 1.41 | 1.31 | 0.30 |
| phase of harmonic, months: | | | | | | |
| Air temperature | 7.07 | 4.16 | 2.45 | 2.06 | 1.90 | 0.00 |
| Sum of precipitations | 6.82 | 0.29 | 2.92 | 2.07 | 1.36 | 0.00 |
| Saturation deficit | 6.72 | 1.66 | 0.78 | 1.36 | 0.55 | 0.00 |
| Relative humidity | 10.36 | 0.85 | 2.34 | 2.60 | 1.52 | 0.00 |
| Water vapour pressure | 7.22 | 1.19 | 2.14 | 2.26 | 0.77 | 0.00 |
| Station level pressure | 10.07 | 2.88 | 1.70 | 0.97 | 0.44 | 0.00 |
| Wind speed | 2.20 | 4.49 | 3.10 | 0.98 | 1.55 | 0.00 |

The total contribution of higher harmonics at all weather stations located in the Ukrainian Carpathians is below 1% for air temperature, with only 1-2% for water vapour pressure and 0.4-4.5% for saturation deficit. In these cases, higher harmonics can be considered insignificant (with $f_i \geq 5\%$ taken as a criterion of significance). Thus, all of them can be disregarded.

The annual harmonic contributes considerably to seasonal fluctuations of wind speed (53-96%) and station level pressure (69-93%). It is only at one alpine weather station (Pozhezhevska, 1,451m above the sea level) that this harmonic does not contribute significantly to relative humidity seasonal fluctuations (9.6%), following the four higher order harmonics. In case of sum of precipitations, the number of such exceptions has grown to five, with three low weather stations (Khust – 7.7%, Uzhhorod – 38.4%, Berehove – 48.1%) having joined two mountain stations (Plai, 1,330m – 42.7%, Rakhiv, 430m – 41.2%). It is interesting that here the role of the annual harmonic weakened on the background of a considerable strengthening of the semiannual harmonic (Plai – 54.2%, Rakhiv – 51.5%, Khust – 75.2%, Uzhhorod – 56.7%, Berehove – 46.0%). Geographically, the fact that these weather stations are located within the Transcarpathian Lowland and on the slopes exposed to the winds unites them.

As we know, the semiannual harmonic is most appropriate to describe the annual cycle of MVs with two maximum and two minimum values. A similar cycle is typical of the seasonal distribution of the above-mentioned MVs – sum of precipitations ($f_2 = 27.5\%$), relative humidity (8.9%), and wind speed (8.6%), with indicator f_2 showing considerable spatial volatility for sum of precipitations (from 9.9% in Yaremche to 75.2% in Khust), moderate volatility for wind speed (from 0.4% in Chernivtsi to 37.3% in Uzhhorod) and a more even distribution for relative humidity (from 2.1% in Drohobych to 19.3% at Pozhezhevska station). In some cases, station level pressure can show noticeable values of indicator f_2 . At four out of ten weather stations it can reach the mark of 5-6%. It can be assumed that such differences in this indicator distribution are influenced by factors of varying scale. Fluctuations of a planetary scale are triggered by the mode of solar radiation supply as well as meridional circulation between summer and winter hemispheres of the Earth [22]. The fluctuations of MVs modulated by them should also be considerable, which is conditioned by thermobaric interactions in the system atmosphere – ocean – dry land in the Atlantic European sector. Finally, being influenced by local peculiarities of underlying surface (orographic factor) fluctuations with less spatial distinction can be generated.

The third harmonic (with a period of 4 months) in a series of geophysical variables may be caused by changes in atmospheric circulation in intra-tropic latitudes resulting from the yearly motion of the Sun [28]. This signal spreads to other parts of a climatic system via numerous mechanisms of direct and inverse links.

A global nature of 4-month cycles is to be determined, in the first place, in atmospheric pressure fluctuations, which can be seen from data provided, since a relevant harmonic makes a significant contribution to station level pressure annual cycle (10.5%). However, a more in-depth analysis reveals the importance of the absolute altitude. It was found that the third harmonic can be disregarded when evaluating atmospheric pressure fluctuations at alpine weather stations (Plai and Pozhezhevska), though at other stations this variable causes rather noticeable disturbance in the annual cycle of this variable. In Kolomyia, the contribution the third harmonic makes reaches 16.2% of the total variance. Moreover, the third harmonic determines considerable fluctuations of some other MVs: wind speed (this variable makes major contribution at six weather stations), sum of precipitations and relative humidity (three stations each).

Harmonics of still higher orders are usually very weak. The reasoning behind physical cause of these fluctuations lies far beyond this work and can arouse more discussion. The grounded analysis of some of them can be found in [21].

The fourth harmonic (with a period of 3 months) can be noticed only in seasonal fluctuations of relative humidity (8 weather stations) and sum of precipitations (2 stations). The fifth harmonic (with a period of 2.4 months) gains importance in the fluctuations of atmospheric pressure (6 weather stations), relative humidity (only for mountain weather stations: Pozhezhevska – 11.2%, Plai – 6.8%), and wind speed (Slavske – 5.2%). The sixth harmonic (with a period of 2 months) can be disregarded in all cases.

Data given in Table 1 support the idea that with the higher order of harmonic the variance caused by this harmonic diminishes [18]. A considerable contribution (5% and more) to the total variance of the annual cycle of MVs of several higher order harmonics becomes possible with dramatic decrease in value of the annual harmonic.

Distribution of f_i values is similar at individual weather stations in the Ukrainian Carpathians. The ratio of arithmetical mean and standard deviation by station sampling proves it right for more than one first harmonics to be considered in statistical models of the annual cycle of MVs.

Data on the distribution of such indicator as amplitude ratio between semiannual and annual harmonics for different MVs is given in Table 2.

Table 2 shows that in case of MVs for which an-

Ratio of amplitudes between semiannual and annual harmonics of some MVs, percentage

| Weather station | Meteorological variable | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| | Air temperature | Sum of precipitations | Saturation deficit | Relative humidity | Water vapour pressure | Station level pressure | Wind speed |
| Yavoriv | 5.6 | 59.3 | 5.8 | 27.3 | 11.4 | – | 10.1 |
| Mostyska | 6.6 | 43.6 | 8.2 | 29.2 | 10.9 | – | 17.5 |
| Drohobych | 6.2 | 36.9 | 8.2 | 15.5 | 10.3 | 26.8 | 17.5 |
| Stryi | 7.1 | 40.3 | 4.3 | 40.6 | 11.2 | – | 16.4 |
| Turka | 6.9 | 49.2 | 5.8 | 47.4 | 11.3 | – | 31.2 |
| Slavske | 6.3 | 44.4 | 6.6 | 19.7 | 11.3 | 21.1 | 36.7 |
| Dolyna | 6.3 | 35.9 | 2.0 | 43.6 | 11.2 | – | 11.0 |
| Ivano-Frankivsk | 6.9 | 41.1 | 7.2 | 23.7 | 11.3 | 28.9 | 19.3 |
| Kolomyia | 7.6 | 35.8 | 5.3 | 26.5 | 10.7 | 30.5 | 26.2 |
| Yaremche | 6.2 | 33.3 | 6.5 | 51.4 | 11.3 | – | 40.7 |
| Pozhezhevska | 2.7 | 60.9 | 6.0 | 141.7 | 13.8 | 14.5 | 15.7 |
| Velykyi Bereznyi | 7.5 | 84.8 | 4.4 | 29.7 | 11.1 | – | 38.0 |
| Nyzhni Vorota | 6.7 | 57.3 | 2.7 | 31.2 | 10.4 | – | 28.3 |
| Nyzhnii Studenyi | 6.6 | 61.5 | 6.3 | 22.7 | 10.5 | – | 27.0 |
| Uzhhorod | 8.3 | 121.5 | 4.9 | 34.3 | 10.8 | 9.8 | 83.7 |
| Plai | 2.0 | 112.7 | 4.8 | 35.9 | 12.3 | 9.2 | 36.6 |
| Mizhhirya | 7.3 | 76.7 | 4.7 | 27.2 | 10.6 | – | 28.7 |
| Berehove | 8.1 | 97.8 | 7.1 | 28.3 | 9.3 | – | 57.7 |
| Khust | 8.5 | 311.9 | 5.8 | 30.0 | 10.0 | 9.4 | 56.7 |
| Rakhiv | 7.0 | 111.8 | 3.3 | 38.2 | 12.2 | – | 34.8 |
| Chernivtsi | 7.1 | 46.2 | 5.0 | 26.7 | 11.7 | 28.5 | 6.6 |
| Seliatyn | 6.1 | 39.0 | 2.7 | 27.3 | 12.1 | 23.7 | 23.5 |
| mean | 6.5 | 72.8 | 5.3 | 36.3 | 11.2 | 20.2 | 30.2 |
| maximum | 8.5 | 311.9 | 8.2 | 141.7 | 13.8 | 30.5 | 83.7 |
| minimum | 2.0 | 33.3 | 2.0 | 15.5 | 9.3 | 9.2 | 6.6 |
| standard deviation | 1.5 | 60.1 | 1.7 | 25.1 | 0.9 | 8.7 | 18.1 |

nual harmonic is of prior importance, this ratio is low, characterized by slight variations according to the data provided by stations. Thus, for saturation deficit and air temperature the amplitude of the semiannual harmonic does not exceed 8-9% in relation to the annual harmonic amplitude, while for water vapour pressure it constitutes 14%. At the same time, for relative humidity and especially for sum of precipitations the amplitude of the semiannual harmonic can sometimes exceed the amplitude of the fundamental harmonic.

Since in most cases it is the first harmonic that determines most of the total variance of MVs, the maximum and the minimum values of its cycle during a year can be found by the phase value of this harmonic. In this sense, the graphs of water vapour pressure (Fig. 2) and relative humidity annual cycles (Fig. 3) are most demonstrative.

Thus, at Plai weather station the maximum value of water vapour pressure can be observed in late July ($t_1 = 7.26$ month), while the maximum value of relative humidity – in the first half of December (11.68 month). For other weather stations in the Ukrainian Carpathians, the maximum value of water vapour pressure almost coincides in time with that at Plai station ($7.17 \div 7.26$ month). Time discrepancy in reaching the maximum value of relative humidity is far more considerable ($9.71 \div 12.19$ month).

In addition to the actual seasonal cycle of humidity elements, relevant graphs also show their model estimates obtained with the first harmonic, the first two harmonics and the first three harmonics taken into account. It is the first harmonic amplitude that best agrees with the annual cycle amplitude of a corresponding variable. With higher order harmonics taken into account, model estimates become more ac-

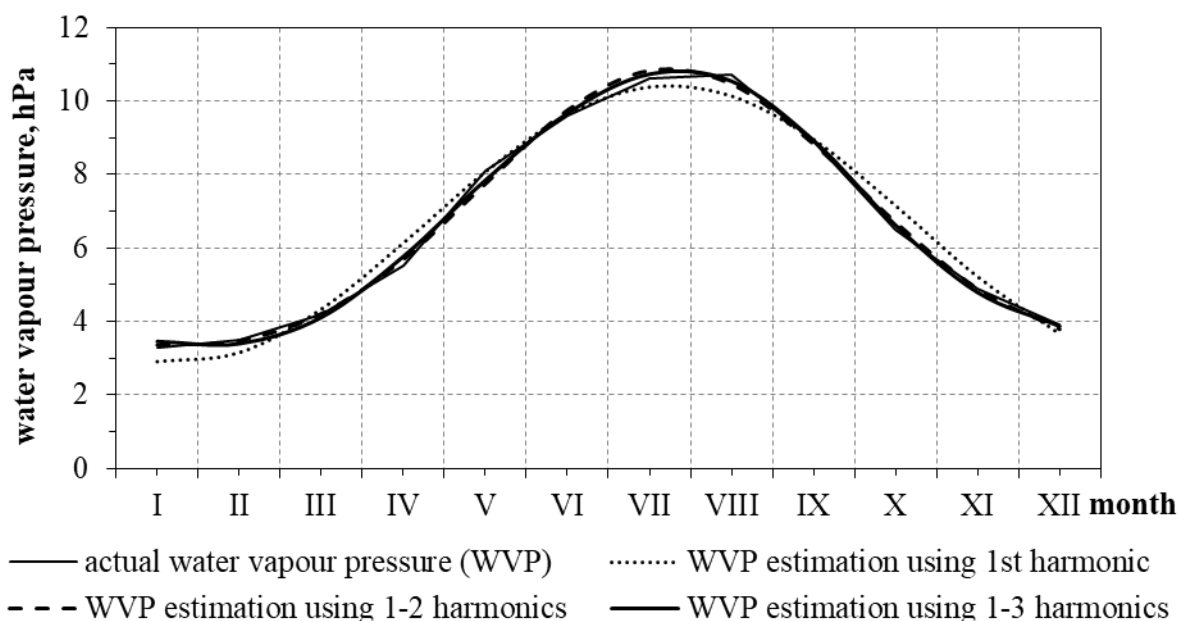


Fig. 2. Water vapour pressure annual cycle at Plai weather station

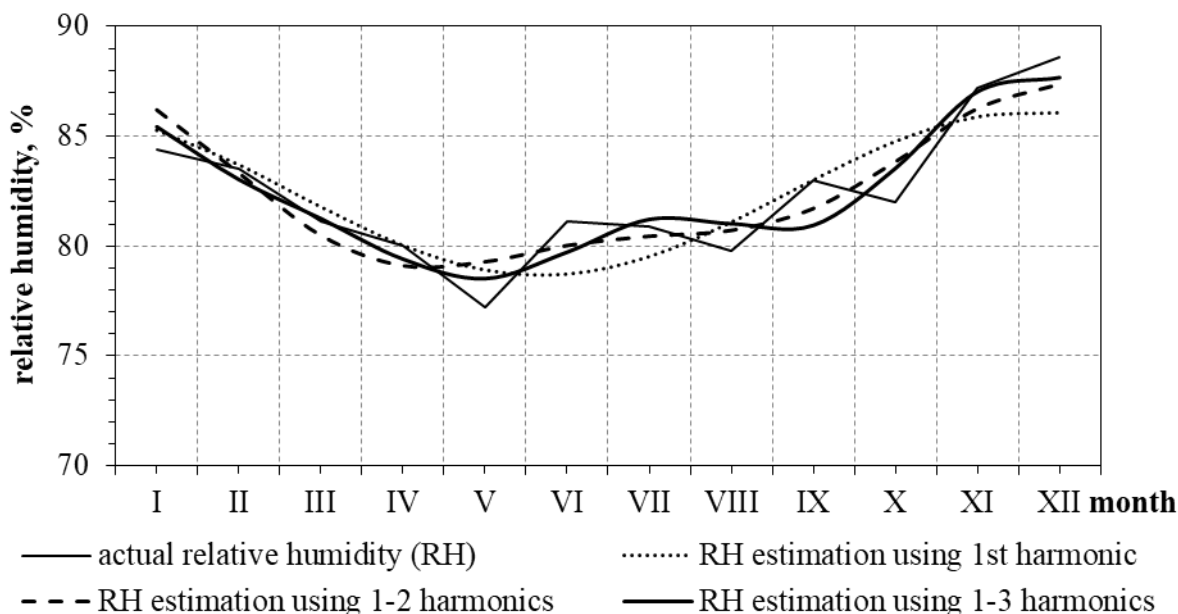


Fig. 3. Relative humidity annual cycle at Plai weather station

curate. This is more evident for relative humidity, since it is only with these variables taken into account that the model can display the minimum value in early May as well as some other peculiarities. Figure 3 shows that for a more accurate representation of peculiarities of the relative humidity annual cycle, the number of approximating harmonics should be increased (the fourth and the fifth harmonics at Plai weather station describe 5.9 and 6.8% of the total variance respectively). At the same time, in case of water vapour pressure, though, consideration of the first two harmonics – annual and semiannual – will suffice.

Normally, the maximum of the first order harmonic for meteorological variables that are directly interdependent occurs at the same time, while for

those that are inversely interdependent there is a six month gap. Thus, at Plai weather station we can observe air temperature change ($t_1 = 7.15$ month) in an almost synchronized manner along with water vapour pressure (7.26 month), saturation deficit (6.84 month) and sum of precipitations (7.23 month) associated with it. With a slight delay, the temperature itself follows seasonal changes in solar radiation (or, in the first approach, midday altitude of the Sun, with the phase angle being 6.23 months) as a determining factor of climate formation.

It is almost in antiphase that air temperature ($t_1 = 7.15$ month), relative humidity (11.68 month), station level pressure (8.15 month), and wind speed

(0.69 month) change. However, the cycle of atmospheric pressure (8.15 months) as well as sum of precipitations (7.23 months respectively) does not reveal the expected dependence. The disagreement in fluctuations of these variables can be explained by some peculiarities of a seasonal restructuring of thermobaric field in the whole of Atlantic European sector of the Northern hemisphere. It should be noted that data on the sea level pressure for Plai station is not available, while at other weather stations with a lower hypsometric position the phase of this MV was observed to be late related to station level pressure with the delay difference typically being not longer than 1 month.

It is general knowledge that the phase delay of the air temperature annual harmonic with relation to solar radiation indicates a weakened effect of large land masses [6, 8], and that the mountain climate has

a lot in common with maritime climate [2, 26]. Given this fact, let us try to estimate the effect of Ukrainian Carpathians on the phase structure of seasonal fluctuations of individual MVs.

It was found that with an increase in altitude, the maximum of the first harmonic for a number of inter-related variables occurs with some delay (Fig. 4). Phase delay (angle of slope for trend lines in Fig. 4) is bigger for saturation deficit (0.030 month/100m), moderate for air temperature (0.014 month/100m) and weaker for water vapour pressure (0.004 month/100m). The above-mentioned delay values turned out to be statistically significant being at the 5% significance level. Determination coefficients R^2 of linear equations (0.560, 0.639 and 0.234 respectively) indicate medium (water vapour pressure) and high (the other two variables) degree of dependence.

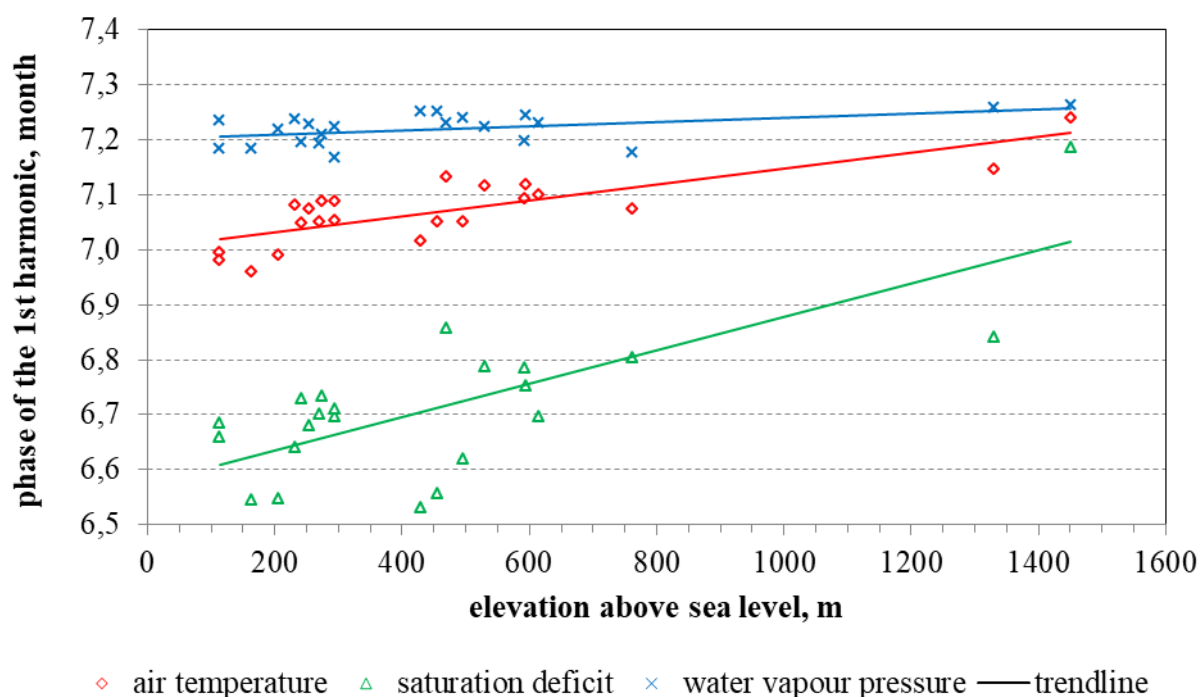


Fig. 4. Phase delay of the first harmonic with change in altitude

The opposite tendency, namely advancing of coming of time the first harmonic maximum t_1 for station level pressure with change in altitude (h), as dependency being almost linear (determination coefficient of equation $t_1 = -0.0026h + 11.511$ is equal to 0.96), is also worth considering.

Time distribution for the maximum of the first harmonic to be reached in the Carpathian highlands differs significantly from that for the Transcarpathian Lowland and the adjacent areas of the East European Plain (Fig. 5).

The feature that is common for MVs, shown in the picture, is the total length of contour lines of the same phase values of this harmonic, going from

northwest to southeast as well as a considerable concentration of contour lines in mountains, but the margins of this variable differing a lot. For sum of precipitations, maximum delay in the first harmonic phase is observed from the leeward side of the southwest slopes of the Ukrainian Carpathians as well as on the approach to the highest ridges of this mountain system (Fig. 5, (b)). Moving deep into the territory of Ukraine, the value of this harmonic phase goes down again. For other MVs, the area of maximum delay in the first harmonic phase is strictly localized over the highest areas of the Ukrainian Carpathians.

Thus, it is not only general climatic conditions that get milder in the Ukrainian Carpathians [15, 24, 25, 27], but also some specific orographically deter-

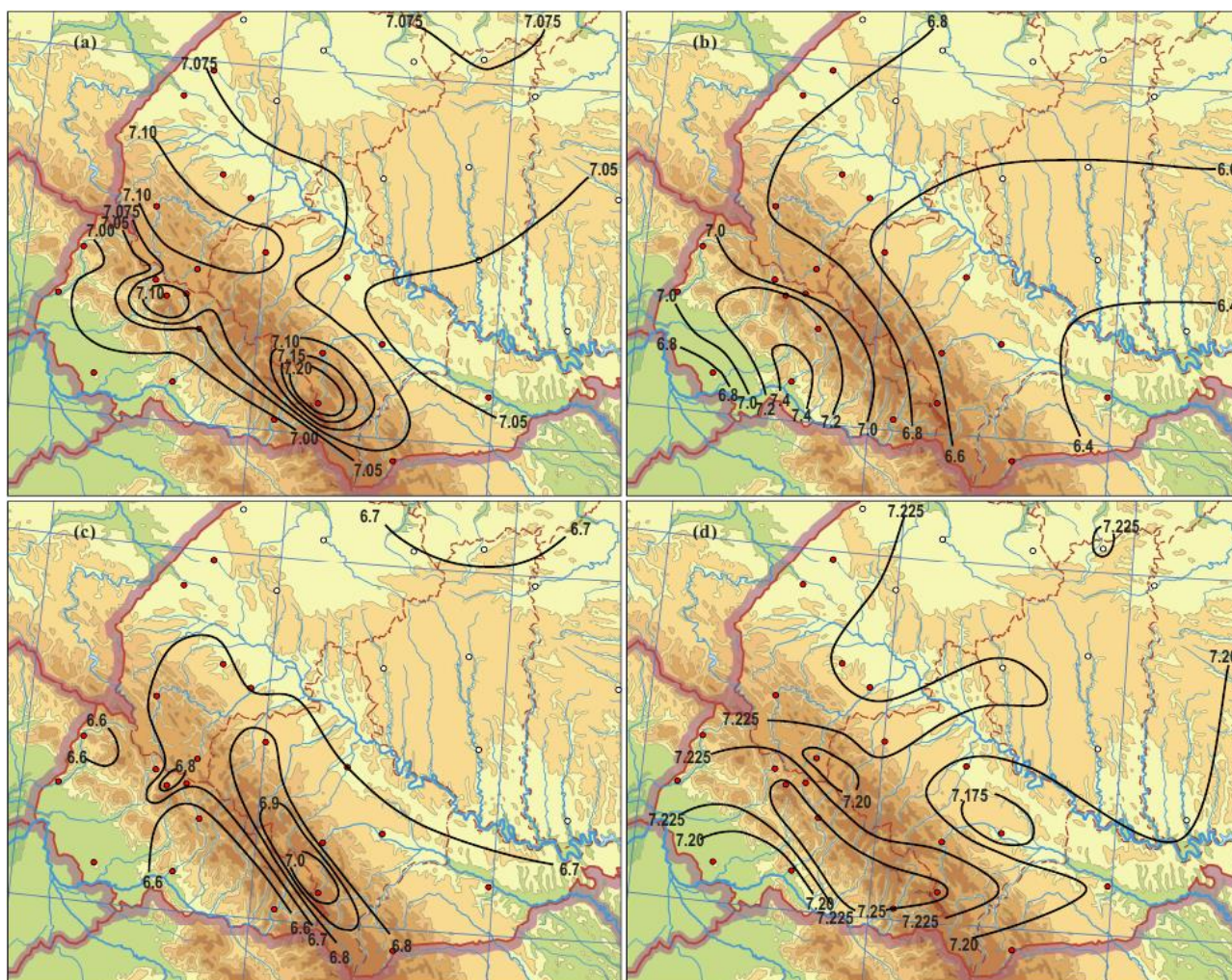


Fig. 5. Phase of first harmonic for some MVs:
 (a) air temperature; (b) sum of precipitations; (c) saturation deficit; (d) water vapour pressure

mined (by the whole complex of relief conditions, or mainly due to varying altitude) effects are created, which are difficult to detect with the use of traditional methods of climatological treatment of meteorological data.

Conclusions. From the provided materials, we can see that in order to characterize polyharmonic structure of different MVs annual cycle, the value of a relative contribution that harmonic makes to the total variance of seasonal fluctuations (indicator f_i) proved to be most convenient. It was found that in the Ukrainian Carpathians a major contribution to fluctuations of different MVs is made by the annual and semiannual harmonics. Their aggregate contribution to the total variance of the whole complex of the climate regime parameters exceeds 94%.

Most seasonal fluctuations are determined by the fundamental harmonic. In case of air temperature, saturation deficit and water vapour pressure, its contribution exceeds 98%. For some more variables, its contribution makes as much as 80% and more. It was also found that the contribution the annual harmonic makes to the total variance of the seasonal cycle of

some water circulation indicators (relative humidity and especially sum of precipitations) weakens in the territory of the Transcarpathian Lowland and the windward southwest macroslope of the Ukrainian Carpathians.

Semiannual harmonic gains prior importance only for sum of precipitations seasonal cycle (27.5%). It also makes a noticeable contribution to the annual cycle of relative humidity, wind speed, and to a somewhat lesser extent to station level pressure, with indicators f_i for these MVs showing different degrees of differentiation in space.

The third harmonic is of prior significance in atmospheric pressure fluctuations. However, its importance varies for weather stations of different hypsometrical position likely reflects the overall weakening of the effect the underlying surface produces on the atmosphere with change in altitude.

In the fluctuations of some MVs higher order harmonics have also been found, though only in some cases they determine over 5% of the total variance. It was shown that the last harmonic (with a period of 2 months) does not play any significant role at all.

The Ukrainian Carpathians possess some specific features of a mountain climate, with one of them being a regular change of maximum occurring for a number of MVs with change in altitude. The revealed climatic effects of delayed or early annual harmonic phase with relation to change in altitude are to be

supported by research into the climate of other mountainous countries.

These materials indicate that it is essential for a number of harmonics to be taken into consideration when representing climatological features of MVs with a weakened annual cycle.

References

1. Abercromby R. On the application of harmonic analysis to the reduction of meteorological observations, and on the general methods of meteorology [Text] / R. Abercromby // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* – 1878. – Vol. 4, Issue 27. – P. 141–157. doi:10.1002/qj.4970042701
2. Barry R.G. Mountain weather and climate. 3rd edn. [Text] / R.G. Barry. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 506 p.
3. Craddock J.M. The representation of the annual temperature variation over central and northern Europe by a two-term harmonic form [Text] / J.M. Craddock // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* – 1956. – Vol. 82, Issue 353. – P. 275–288. doi:10.1002/qj.49708235304
4. Kalma J.D. The annual course of air temperature and near-surface soil temperature in a tropical Savannah environment [Text] / J.D. Kalma // *Agricultural Meteorology.* – 1971. – Vol. 8. – P. 293–303. doi:10.1016/0002-1571(71)90117-8
5. Marshall G.J. On the annual and semi-annual cycles of precipitation across Antarctica [Text] / G.J. Marshall // *International Journal of Climatology.* – 2009. – Vol. 29, Issue 15. – P. 2298–2308. doi:10.1002/joc.1810
6. McKinnon K.A. The Spatial Structure of the Annual Cycle in Surface Temperature: Amplitude, Phase, and Lagrangian History [Text] / K.A. McKinnon, A.R. Stine, P. Huybers // *Journal of Climate.* – 2013. – Vol. 26. – P. 7852–7862. doi:10.1175/JCLI-D-13-00021.1
7. Panofsky H.A. Some Applications of Statistics to Meteorology [Text] / H.A. Panofsky, G.W. Brier. – University Park: Pennsylvania state university, 1968. – 224 p.
8. Prescott J.A. The lag of temperature behind solar radiation [Text] / J.A. Prescott, J.A. Collins // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* – 1951. – Vol. 77, Issue 331. – P. 121–126. doi:10.1002/qj.49707733112
9. Van den Broeke M. The semi-annual oscillation and Antarctic climate. Part 3: the role of near-surface wind speed and cloudiness [Text] / M. Van den Broeke // *International Journal of Climatology.* – 2000. – Vol. 20, Issue 2. – P. 117–130. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(200002)20:2<117::AID-JOC481>3.0.CO;2-B
10. Wallace C.J. Recent and future modulation of the annual cycle [Text] / C.J. Wallace, T.J. Osborn // *Climate Research.* – 2002. – Vol. 22, Issue 1. – P. 1–11. doi:10.3354/cr022001
11. Wilks D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences. 2nd edn. [Text] / D.S. Wilks // Amsterdam: Academic Press, 2006. – 630 p.
12. Yashayaev I.M. Climate of the seasonal cycle in the North Pacific and the North Atlantic oceans [Text] / I.M. Yashayaev, I.I. Zveryaev // *International Journal of Climatology.* – 2001. – Vol. 21, Issue 4. – P. 401–417. doi:10.1002/joc.585
13. Zveryaev I.I. Climatology and long-term variability of the annual cycle of air temperature over Europe [Text] / I.I. Zveryaev // *Russian Meteorology and Hydrology.* – 2007. – Vol. 32. – P. 426–430. doi:10.3103/S1068373907070023
14. Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели) [Текст] / Редкол.: Ю.С. Седунов (председатель), С.И. Авдюшин, Е.П. Борисенков, О.А. Волковецкий, Н.Н. Петров, Р.Г. Рейтенбах, В.И. Смирнов, А.А. Черников. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.
15. Бучинський І.О. Клімат Українських Карпат [Текст] / І.О. Бучинський, М.М. Волеваха, В.О. Коржов. – К.: Наукова думка, 1971. – 172 с.
16. Гирская Э.И. Полугодовые колебания атмосферного давления [Текст] / Э.И. Гирская // *Труды ГГО.* – 1976. – Вып. 378. – С. 110–115.
17. Затула В.І. Виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань метеорологічних величин на території Волинського Полісся [Текст] / В.І. Затула // *Фізична географія та геоморфологія.* – 2017. – Т. 1(85). – С. 101–105.
18. Затула В.І. Гармонічний аналіз сезонних коливань деяких метеорологічних величин на території України [Текст] / В.І. Затула, Н.І. Затула // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2014. – Т. 2(33). – С. 98–103.
19. Затула В.І. Виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань метеорологічних величин на території Житомирського Полісся [Текст] / В.І. Затула, Н.І. Затула // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2017. – Т. 1(44). – С. 114–120.
20. Затула В.І. Сезонные колебания некоторых метеорологических величин на территории Одесской области [Текст] / В.И. Затула, Н.И. Затула // *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины.* – 2017. – № 1(20). – С. 67–75.
21. Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата [Текст] / В.В. Иванов // *Успехи физических наук.* – 2002. – Т. 172, № 7. – С. 777–811. doi:10.1070/PU2002v045n07ABEH000948
22. Иванов-Холодный Г.С. Полугодовые вариации в аэрономии и геомагнетизме [Текст] / Г.С. Иванов-Холодный // *Успехи физических наук.* – 1974. – Т. 114, Вып. 2. – С. 379–381. doi:10.3367/UFNr.0114.197410i/0379
23. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии [Текст] / А.А. Исаев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 248 с.
24. Климатические ресурсы Украинских Карпат и горных районов Болгарии [Текст] / Под ред. Л.И. Сакали и С.Х. Линговой. – М.: Моск. отд-ние Гидрометеиздата, 1988. – 340 с.

25. *Клімат України [Текст] / За ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.*
26. *Кобышева Н.В. Климатология [Текст]: учебник / Н.В. Кобышева, С.И. Костин, Э.А. Струнников. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 344 с.*
27. *Логвинов К.Т. Опасные гидрометеорологические явления в Карпатах [Текст] / К.Т. Логвинов, А.Н. Раевский, М.И. Айзенберг. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 199 с.*
28. *Луценко О.В. Временная изменчивость момента импульса атмосферы: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. физ.-мат. наук : спец. 25.00.30 "метеорология, климатология, агроклиматология" / Луценко Олег Викторович; Гидрометеорол. науч.-исслед. центр РФ. – Москва, 2003. – 22 с.*
29. *Маринич О.М. Фізична географія України [Текст]: підручник / О.М. Маринич, П.Г. Шищенко. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2003. – 479 с. – ISBN 966-620-199-2.*
30. *Молодых В.А. Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха [Текст] / В.А. Молодых, В.Ф. Логинов // Труды ГГО. – 1984. – Вып. 471. – С. 86-92.*
31. *Семенов С.М. Синусоидальная аппроксимация годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке [Текст] / С.М. Семенов, Е.С. Гельвер // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 11. – С. 25–30.*

UDC 551.582.2(477.8)

Vasyl Zatula,

PhD (Geography), Associate Professor,

Department of Meteorology and Climatology of Faculty of Geography,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,

e-mail: vaszatula@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5598-0200>

DECOMPOSITION AND MODELLING OF THE ANNUAL CYCLE OF METEOROLOGICAL VARIABLES IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Formulation of the problem. In this paper we consider some structural peculiarities of the seasonal cycle of a number of meteorological variables (air temperature, sum of precipitations, saturation deficit, relative humidity, water vapour pressure, station level and sea level pressure, wind speed) in the Ukrainian Carpathians, with the annual cycle being interpreted as a superposition of six harmonics with the period ranging from 2 months to 1 year.

Data and methods. This research is based on the average monthly values of seven meteorological variables in the Ukrainian Carpathians within a standard climatological period of 1961-1990. Implicit frequencies in seasonal fluctuations were revealed and evaluated with the help of harmonic analysis method.

Presentation of the main research material. A particular emphasis has been laid on the parameters of the first (annual) and second (semiannual) harmonics. It was found out that, on average, the annual harmonic explains some 87% of the total variance of the variables, while the semiannual harmonic accounts for more than 7%. It is shown that when considering seasonal fluctuations of air temperature, saturation deficit and water vapour pressure annual harmonic will suffice. Analyzing fluctuations of other meteorological variables requires a semiannual harmonic to be taken into account. Higher order harmonics (from third to fifth) are to be taken into consideration when analyzing relative humidity, sum of precipitations, station level pressure, and wind speed. The last harmonic (with a period of 2 months) does not play any significant role at all.

It was found out that the seasonal cycle structure of these meteorological variables at mountain weather stations and at foothill ones differ noticeably. For some meteorological variables, namely saturation deficit, air temperature, water vapour pressure and atmospheric pressure, orographic effects that manifest in either delayed or early phase of the annual cycle with relation to altitude, have proved to be statistically significant. Phases of this harmonic are typical of meteorological variables that are directly interdependent, while variables that are inversely interdependent normally fluctuate in antiphase.

Keywords: annual cycle, harmonics, amplitude, phase, models, Ukrainian Carpathians, orographic effects.

References

1. *Abercromby R. (1878). On the application of harmonic analysis to the reduction of meteorological observations, and on the general methods of meteorology. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 4(27), 141-157. doi:10.1002/qj.4970042701*
2. *Barry R.G. (2008). Mountain weather and climate. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 506.*
3. *Buchyn's'kyj I.O., Volevaxa M.M., Korzhov V.O. (1971). Klimat Ukrayins'ky'x Karpat [Climate of the Ukrainian Carpathians]. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka, 172.*

4. Craddock J.M. (1956). *The representation of the annual temperature variation over central and northern Europe by a two-term harmonic form*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 82(353), 275-288. doi:10.1002/qj.49708235304
5. Girskaia Je.I. (1976). *Polugodovye kolebanija atmosfernogo davlenija [Semi-annual variations of atmospheric pressure]*. *Proceedings of Main Geophysical Observatory*, 378, 110-115.
6. Isaev A.A. (1988). *Statistika v meteorologii i klimatologii [Statistics in meteorology and climatology]*. Moscow, USSR: Moscow State University, 248.
7. Ivanov V.V. (2002). *Periodicheskie kolebanija pogody i klimata [Periodic weather and climate variations]*. *Advances in physical sciences*, 172(7), 777-811. doi:10.1070/PU2002v045n07ABEH000948
8. Ivanov-Holodnyj G.S. (1974). *Polugodovye variacii v ajeronomii i geomagnetizme [Semi-annual variations in aeronomy and geomagnetism]*. *Advances in physical sciences*, 114(2), 379-381. doi:10.3367/UFNr.0114.197410i/0379
9. Kalma J.D. (1971). *The annual course of air temperature and near-surface soil temperature in a tropical Savannah environment*. *Agricultural Meteorology*, 8, 293-303. doi:10.1016/0002-1571(71)90117-8
10. Kobysheva N.V., Kostin S.I., Strunnikov Je.A. (1980). *Klimatologija [Climatology]*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat, 344.
11. Lipins'kyj V.M., Dyachuk V.A., Babichenko V.M. eds. (2003). *Klimat Ukrayiny` [Climate of Ukraine]*. Kyiv, Ukraine: Vy`davny`ctvo Rayevs`kogo, 343.
12. Logvinov K.T., Raevskij A.N., Ajzenberg M.I. (1973). *Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija v Karpatah [Dangerous hydrometeorological phenomena in the Carpathians]*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat, 199.
13. Lucenko O.V. (2003). *Vremennaja izmenchivost' momenta impul'sa atmosfery [Temporal variability of the angular momentum of the atmosphere]*. Hydrometeorological research center of Russian Federation. Moscow, Russian Federation, 22.
14. Marshall G.J. (2009). *On the annual and semi-annual cycles of precipitation across Antarctica*. *International Journal of Climatology*, 29(15), 2298-2308. doi:10.1002/joc.1810
15. Mary`ny`ch O.M., Shy`shhenko P.G. (2003). *Fizy`chna geografiya Ukrayiny` [Physical Geography of Ukraine]*. Kyiv, Ukraine: Tovarystvo «Znannya», 479.
16. McKinnon K.A., Stine A.R., Huybers P. (2013). *The Spatial Structure of the Annual Cycle in Surface Temperature: Amplitude, Phase, and Lagrangian History*. *Journal of Climate*, 26, 7852-7862. doi:10.1175/JCLI-D-13-00021.1
17. Molodyh V.A., Loginov V.F. (1984). *Vozmozhnye prichiny polugodovyh kolebanij temperatury vozduha [Possible causes of semi-annual variations in air temperature]*. *Proceedings of Main Geophysical Observatory*, 471, 86-92.
18. Panofsky H.A., Brier G.W. (1968). *Some Applications of Statistics to Meteorology*. University Park, USA: Pennsylvania state university, 224.
19. Prescott J.A., Collins J.A. (1951). *The lag of temperature behind solar radiation*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 77(331), 121-126. doi:10.1002/qj.49707733112
20. Sakali L.I., Lingova S.H. eds. (1988). *Klimaticheskie resursy Ukrainskih Karpat i gornyh rajonov Bolgarii [Climate resources of the Ukrainian Carpathians and mountainous regions of Bulgaria]*. Moscow, USSR: Gidrometeoizdat, Moskovskoe otdelenie, 340.
21. Sedunov Ju.S. (Chairman), Avdjushin S.I., Borisenkov E.P., Volkovickij O.A., Petrov N.N., Rejtenbah R.G., Smirnov V.I., Chernikov A.A. eds. (1991). *Atmosfera. Spravochnik (spravochnye dannye, modeli) [Atmosphere Handbook (reference data, models)]*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat, 510.
22. Semenov S.M., Gel'ver E.S. (2002). *Sinusoidal'naja approksimacija godovogo hoda srednesutochnoj temperatury vozduha na territorii Rossii v XX veke [Sine approximation of the annual course of daily mean air temperature in Russia in the twentieth century]*. *Meteorology and hydrology*, 11, 25-30.
23. Van den Broeke M. (2000). *The semi-annual oscillation and Antarctic climate. Part 3: the role of near-surface wind speed and cloudiness*. *International Journal of Climatology*, 20(2), 117-130. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(200002)20:2<117::AID-JOC481>3.0.CO;2-B
24. Wallace C.J., Osborn T.J. (2002). *Recent and future modulation of the annual cycle*. *Climate Research*, 22(1), 1-11. doi:10.3354/cr022001
25. Wilks D.S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2nd edn. Amsterdam: Academic Press, 630.
26. Yashayaev I.M., Zveryaev I.I. (2001). *Climate of the seasonal cycle in the North Pacific and the North Atlantic oceans*. *International Journal of Climatology*, 21(4), 401-417. doi:10.1002/joc.585
27. Zatula V.I. (2017). *Viyavleniya prihovanih periodichnostej sezonnih kolivan meteorologichnih velichin na teritoriyi Volynskogo Polissya [Identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of meteorological variables on the territory of Volyn Polissya]*. *Physical geography and geomorphology*, 1(85), 101-105.
28. Zatula V.I., Zatula N.I. (2014). *Harmonic analysis of seasonal oscillations of some meteorological variables on Ukrainian territory*. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2(33), 98-103.
29. Zatula V.I., Zatula N.I. (2017a). *Sezonnye kolebaniya nekotoryh meteorologicheskikh velichin na territorii Odesskoj oblasti [Seasonal oscillations of some meteorological variables on territory of Odessa region]*. *Bulletin of Hydrometeorological center of Black and Azov seas*, 1(20), 67-75.
30. Zatula V.I., Zatula N.I. (2017b). *Viyavleniya prihovanih periodichnostej sezonnih kolivan meteorologichnih velichin na teritoriyi Zhitomirskogo Polissya [Identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of meteorological variables on the territory of Zhytomyr Polissya]*. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(44), 114-120.
31. Zveryaev I.I. (2007). *Climatology and long-term variability of the annual cycle of air temperature over Europe*. *Russian Meteorology and Hydrology*, 32, 426-430. doi:10.3103/S1068373907070023

UDC 004.9+004.451+911.3+502.22

Sergiy Vasylovych Kostrikov,

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

EOS Data Analytics Ukraine, LLC, 31 Alchevskyyh St., Kharkiv, 61002, Ukraine,
e-mail: sergiy.kostrikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>;

Liudmyla Mykolaiivna Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: ludmila.nemets@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Kateryna Yuriivna Sehida,

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: kateryna.sehida@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Kostyantyn Arkadiiovych Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: konnem1948@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

Cezar Morar,

PhD (Geography), Associate Professor, University of Oradea, Faculty of Geography, Tourism and Sport,
1 University St., C., Hall Office 221, Oradea, 410087, Romania,
e-mail: cezarmorar@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0211-5883>

GEOINFORMATION APPROACH TO THE URBAN GEOGRAPHIC SYSTEM RESEARCH (CASE STUDIES OF KHARKIV REGION)

С. В. Костриков, Л. М. Немець, К. Ю. Сегіда, К. А. Немець, Ч. Морар. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ УРБАНІСТИЧНИХ ГЕОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ (на прикладі м. Харків та області). Стаття присвячена вдосконаленню і подальшому розвитку концептуального підходу щодо дослідження урбаністичних геосистем (УГС) через ГІС-засоби. Урбогеосистема визначається як онтологічна сутність, що функціонує і розвивається в окремому географічному екстенсті урбанізованої території. Подаються два рівня урбогеосистем: екстернальна УГС, як сукупність взаємозв'язаних окремих міст, та інтернальна урбогеосистема – множина районів окремого міста. Отримала подальший розвиток ідея про те, що урбаністичну геосистему можна відтворювати через три модельні сутності: набір дискретних (точкових) географічних об'єктів, що подають суспільно-географічні та економічні атрибути окремих населених пунктів або виокремлених частин одного міста; сукупність лінійних об'єктів, що визначають взаємодії між цими складовими УГС; та множина об'єктів площі, які, власне, і описують елементи УГС. Пояснюється, чому подібна формалізація змісту УГС надає широкі можливості саме для застосування ГІС-засобів для моделювання, аналізу і візуалізації урбогеосистем. Деталізуються чинники, що обумовлюють необхідність впровадження геоінформаційного підходу до дослідження цих систем. У вигляді блок-схеми формалізується алгоритм дослідження УГС через засоби ГІС із подальшим розглядом кожного з його ключових блоків. Зокрема, особливо підкреслюється застосування Лідар-технології як для генерації моделей УГС, так і для аналізу їхньої динаміки. Розглядаються ГІС-інтерфейс та функціональність відповідного програмного забезпечення. Наводиться приклад дослідження екстернальної урбогеосистеми – в інтерфейсі ГІС MapInfo була впроваджена модель маятникової міграції, побудована через аналіз властивостей УГС. Подаються тематичні приклади відтворення інтернальної УГС. Розглядається послідовність її моделювання через Лідар-дані. Обговорюється побудована на платформі ArcGIS модель локалізації ділянок міста із визначенням функціонального впливу урбогеосистеми на особливості розподілу закладів соціальної сфери. На завершення узагальнюються результати дослідження і переваги даного підходу щодо цілей муніципального менеджменту.

Ключові слова: урбогеосистема, ГІС, геоінформаційний підхід, урбаністичні дослідження, алгоритмічна послідовність, екстернальна та інтернальна урбогеосистеми, тематичні дослідження.

С. В. Костриков, Л. Н. Немец, К. Ю. Сегиды, К. А. Немец, Ч. Морар. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ УРБАНИСТИЧЕСКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ (на примере г. Харькова и области). Статья посвящена дальнейшей разработке концептуального подхода, касающегося исследования урбанистических геосистем (УГС) с помощью геоинформационных систем и технологий. Урбогеосистема определяется как некая онтологическая сущность, которая функционирует и развивается в отдельном географическом экстенсте урбанизированной территории. Представлены два уровня урбогеосистем: экстернальная УГС, как совокупность взаимосвязанных отдельных городов, и интернальная – множество районов одного города. Получила дальнейшего развитие идея о том, что урбанистическую геосистему можно воссоздавать через три модельные сущности: набор дискретных (точечных) объектов, которые представляют социально-географические и экономические атрибуты населенных пунктов или выделенных районов одного города; совокупность линейных объектов, которые определяют взаимодействия между указанными составляющими УГС; и множество объектов площади, которые, собственно, и описывают элементы урбогеосистемы. Объясняется, почему подобная формализация содержания УГС предоставляет широкие возможности именно для применения ГИС-технологий моделирования, анализа и визуализации урбогеосистем. Детализируются факторы, которые обуславливают необходимость внедрения геоинформационного подхода для исследования этих систем. В виде блок-схемы формализуется алгоритм исследования УГС через ГИС-

інструменти з подальшим розглядом кожного з його ключових блоків. В частині, окремо підкреслюється застосування Лідар-технологій як для генерації моделей УГС, так і для аналізу їх динаміки. Розглядаються ГІС-інтерфейси і функціональність відповідного програмного забезпечення. Приводиться приклад дослідження екстернальної УГС – в інтерфейсі ГІС *MapInfo* була побудована модель маятникової міграції, сгенерована за допомогою аналізу властивостей УГС. Представлені тематичні приклади моделювання інтернальної УГС. Розглядається послідовність її моделювання на основі Лідар-даних. Далі обговорюється побудована на ГІС-платформі *ArcGIS* модель локалізації ділянок міста з визначенням функціонального впливу урбогеосистеми на розподіл об'єктів соціальної сфери. В кінці об'єднуються результати дослідження і переваги даного підходу застосовуючи до цілей муніципального менеджменту.

Ключові слова: урбогеосистема, ГІС, геоінформаційний підхід, урбаністичні дослідження, алгоритмічна послідовність, екстернальна і інтернальна урбогеосистеми, тематичні дослідження.

Research problem introduction. It is a common fact that the global world has been transforming to the information society for several recent decades. We may also accept a *Geographic Information System – GIS* as one of the core tools of this transformation. Just this period of time has also been featured by the continuing urbanization process that still takes place in many first of all – in developing countries. According to the estimation of the United Nations experts (<http://esa.un.org/>), if the whole world population grows up to 32% till 2050, then the urban population in the world – up to 70%, and thus, up to 68% of world population will reside in the cities. It means that we may face the largest urban growth wave throughout the whole mankind history, which also concurs with the drastically rapid development of the information technologies, computer sciences, geoinformatics, and GIS.

For several recent decades it has been recognized by many researches that with the world population and urban growth more and more cities are operating and developing as more and more complicated *urban systems* [7, 14, 15, 19, 45]. This complexity is also a key feature of the contemporary urbanization process that circumstance requires to be evaluated by taking into account not only spatial, but purely geographic issues as well. Both the mentioned rapid urbanization growth, and its attendant alterations in both old, and new cities do not allow us to accept any other alternative to consideration a city as *an urban geographic system entity – an urbogeosystem (UGS)*, which operates within a certain extent of the geographic space [49-51]. Thus, a geographer-urbanist needs both a reliable research approach, and advanced innovative technological tools developed to identify the nature and spatial peculiarities of the urbanization process in a given area. This methodology and its applied derivative solutions meet the necessity for more efficient *urban mapping, city understanding, and municipal management*. All three mentioned domains may be combined in one innovative development – *3D City Cadaster*, intended to resolve those complex property and infrastructural situations, in which a traditional 2D digital cadaster is rather limited [5]. The relevant illustration from a paper, we have just referred to, has been used by the authors as the background for

outlining the reasons of the urbogeosystem concept introduction (Fig. 1).

For the time being, a GIS is used every day by everyone in the developed world for various, both routine, and complicated operations with different spatial data formats: digital elevation models; scanned images and their processing applications; vector map data – roads, rivers, contours; raster map data – aerial photos, satellite images; 3D objects – buildings, geobodies; engineering data – surface and subsurface, etc.; LiDAR and orthophoto point clouds [24, 33]. The new virtual GIS-worlds and spatial images elaboration with all these data extend our own real world and allow us to think about our only world in many remarkable ways. In this context, GIS is simply one part of a larger tradition of digital data handling and spatial representation at all levels – global, national, and local one [16, 34]. There has been rapid growth of GIS software using for urban management in recent decades accompanied by improvements and expansions of the city simulation capabilities together with the methods / rules / interfaces developed for various modeling-visualizing packages [11, 18, 22, 31, 43].

Apart from some other reasons, the mentioned fact was based mainly on the following circumstance. It was the ability of the advanced GIS applications to solve the partial differential equations of the unsteady urban area expansion and relevant population movement by numerical techniques and describe properly different spatial regularities of urbanization types based on the models developed. The relevant methodological approach had been created even earlier, than either the introduction of GIS technique took place, or a GIS was involved in urban studies [7,8,12, 19,41,42,46]. Only somewhat later, on the one hand, a GIS became a routine tool for municipal planning and urban studies for about 25 years before [15], and it is a sustainable part of both ambitious developing programs [6], as well as it is a subject of the university agenda for the time being [10]. On the other hand, there still may be lack of fundamental research with only few exceptions, which would combine the strong spatial aspect of the urban system analysis with the GIS application advantages, while, for example, a general trend of the system approach, in the research of both urban, and environmental systems was con-

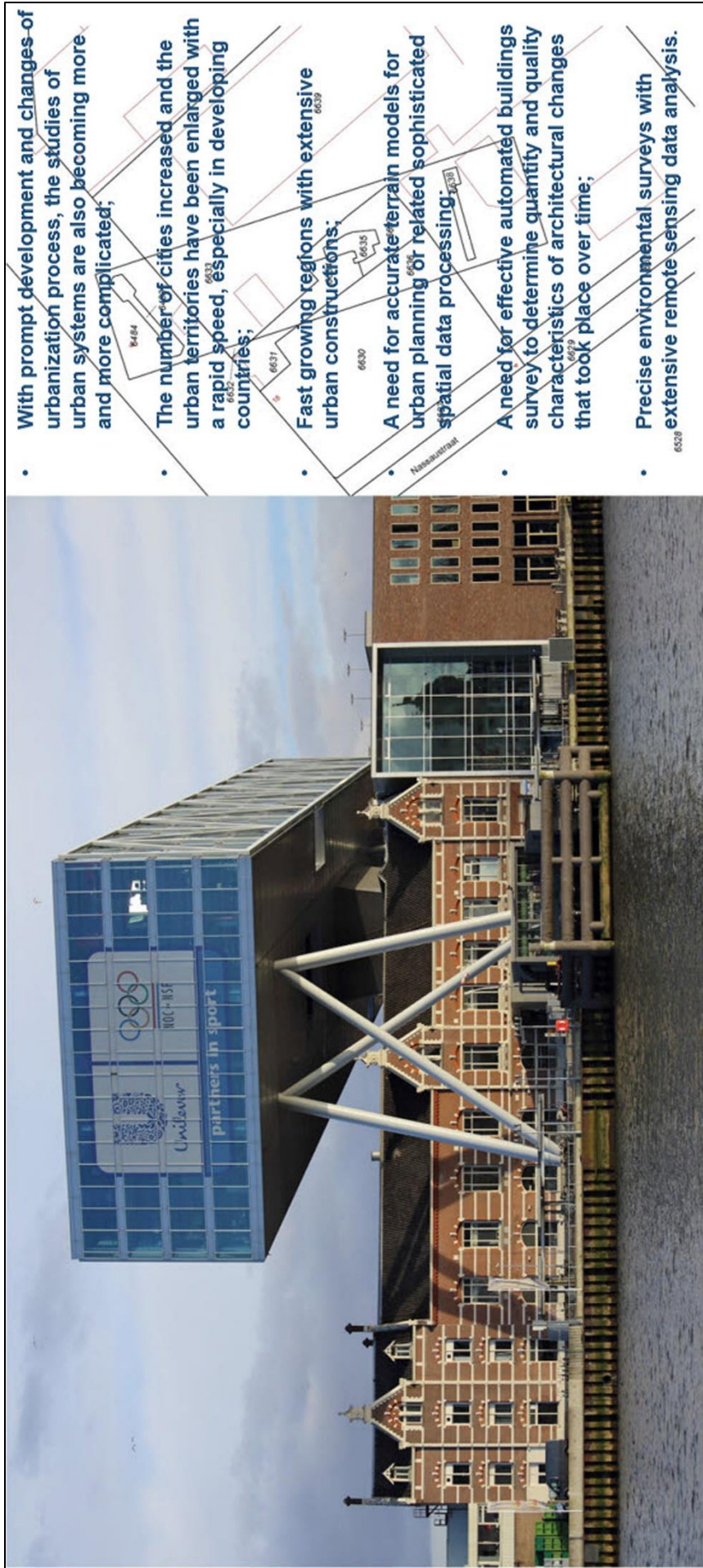


Fig. 1. The list of necessary reasons for the urbogeosystem concept introduction. The visual from [5, P. 2857] is used as this figure background (a complicated situation of the city property – to the left; the ordinary 2D cadastral scheme that does not outline this situation – to the right).

The text on this figure is completely our original one

clusively outlined in the subject literature [3,33, 36,41].

The main **research goal** of this paper is to provide the urban geosystem research concept based on) of GIS and remote sensing data processing software involvement and to give some details about this concept applied implementation. Few regional examples (case studies) of its practical application are also provided. We accept this concept as the core part of the broader Human Geography methodology of using GIS, once represented by two authors [27]. Our paper recognizes the conceptual research approach relevant to the GIS-tools of urban data geoprocessing, modeling and visualizing on the basis of either open, or municipal attributive urban data, as well as based on the data extracted by *LiDAR*-technology remote sensing. It is obvious that an emphasized spatial aspect of the urban research implies the GIS procedures, tools, and operations involvement, what we attempt to examine briefly in the text below.

The geoinformation concept of the urban geographic system research. The external and internal urbogeosystems. Mostly the urban studies completed in the fifties–early seventies of the past century defined an urban system as a straightforward set of separate units (different cities or, in rare case studies - different areas in a single city). Some scant attention, if any, was directed to connections among cities. There were two seminal publications in the second half of the seventies, which introduced the nodal structure of the system of cities, which gave us the chance to determine interconnections and relationships among its structural nodes, thus revealing the pure systematic features [7, 19]. Urban system modeling techniques and initial elements of urban system analysis were represented a few years later. The authors announced, that they simply summarized these issues for practical applications and methods, which had existed since the fifties [3, 23]. Nonetheless, all four referred to publications demonstrated only a few research examples, which could be defined as phenomena of pure emergent properties of an urban system, while this system does not only refer to the set of cities in a certain area, but also demonstrates some unique relationships among them.

This certain drawback can be explained by the circumstances that in the wide-spread acceptance of the “urban system” definition many key spatial aspects have been simply lost. As an attempt to remediate the disadvantage mentioned by one of the authors, the category of *an urban geographic system* was once suggested [49]. This category has been already mentioned in our text above. The UGS is *an urban system, located within a definite extent of the geographic space; it is an unsustainable social-environmental system which is also a united entity of various architectural features and dramatically changed natural*

ecosystems. The direct reference to the certain spatial extent of the geographical space is the key issue in the UGS definition. This not only allows providing all necessary prerequisites for GIS involvement in urban studies, but also securing detailed consideration of most linkages and relationships within a given area, and finally – reveals pure emergent properties of an urbogeosystem.

The nodal structure of the system of cities [7, 14] implies understanding of each single system component as *a point object*, while relationships among all city pairs within a given system entity – as *a linear object*. It is easy to accept that, a certain set of cities located within a definite region, simply is within a chosen *areal object*. In this way, taking into account the relevant thoughts reported earlier [7, 8, 14, 15,19, 20], it is possible not only to introduce the GIS techniques in urban studies, but also to outline some initial UGS hierarchy, making the assumption that point, lines and areas are fundamental spatial constituents of an urban geographic system. What is more, the given methodological assumption looks like a unique method, that allows us to introduce the so-called *geographical scalability*, while we consider a certain instance, a city, as a *point feature* upon some small scale, and that very city upon another, larger, scale – as a *feature related to some area*. If we apply the scalability to the *linear features*, representing various interconnections among the constituents of some cities set, we may obtain these linear features of different ranks, which would mirror the power of each particular connection between each pair of the chosen cities.

Thus, in the case of GIS-modeling one can easily see the correspondence just mentioned above of these UGS spatial constituents to the so-called *basic graphic primitives as GIS features*, which are also *points, lines, and areas*. This already explained key research component of any system study, the method of scalability, can easily be implemented exactly with the GIS-tools. For instance, in some regional case, by zooming in upon a set of cities study, we pass sooner or later that already mentioned threshold, after which “a city as a point” becomes “a city as an area”. Thus, firstly, a set of N cities presents the matrix of $N*N$, while the latter defines a number of linear features, which mirror spatial linkages in *an external urbogeosystem* in terms of human, industrial, commercial, and information traffic. Secondly, not the same, but similar matrix represents N city districts with all pairs of connections among them within *an internal urbogeosystem*, which upon straightforward consideration is simply a set of city districts.

Algorithmic sequence of the urbogeosystem study with a GIS. Based on the foregoing and taking into account once presented “components and process of GIS for urban system analysis” [15, p. 214], we

introduce one of the core issues of the geoinformation approach to the urban geographic system studies – the

algorithmic sequence of this research provision with GIS (Fig. 2).

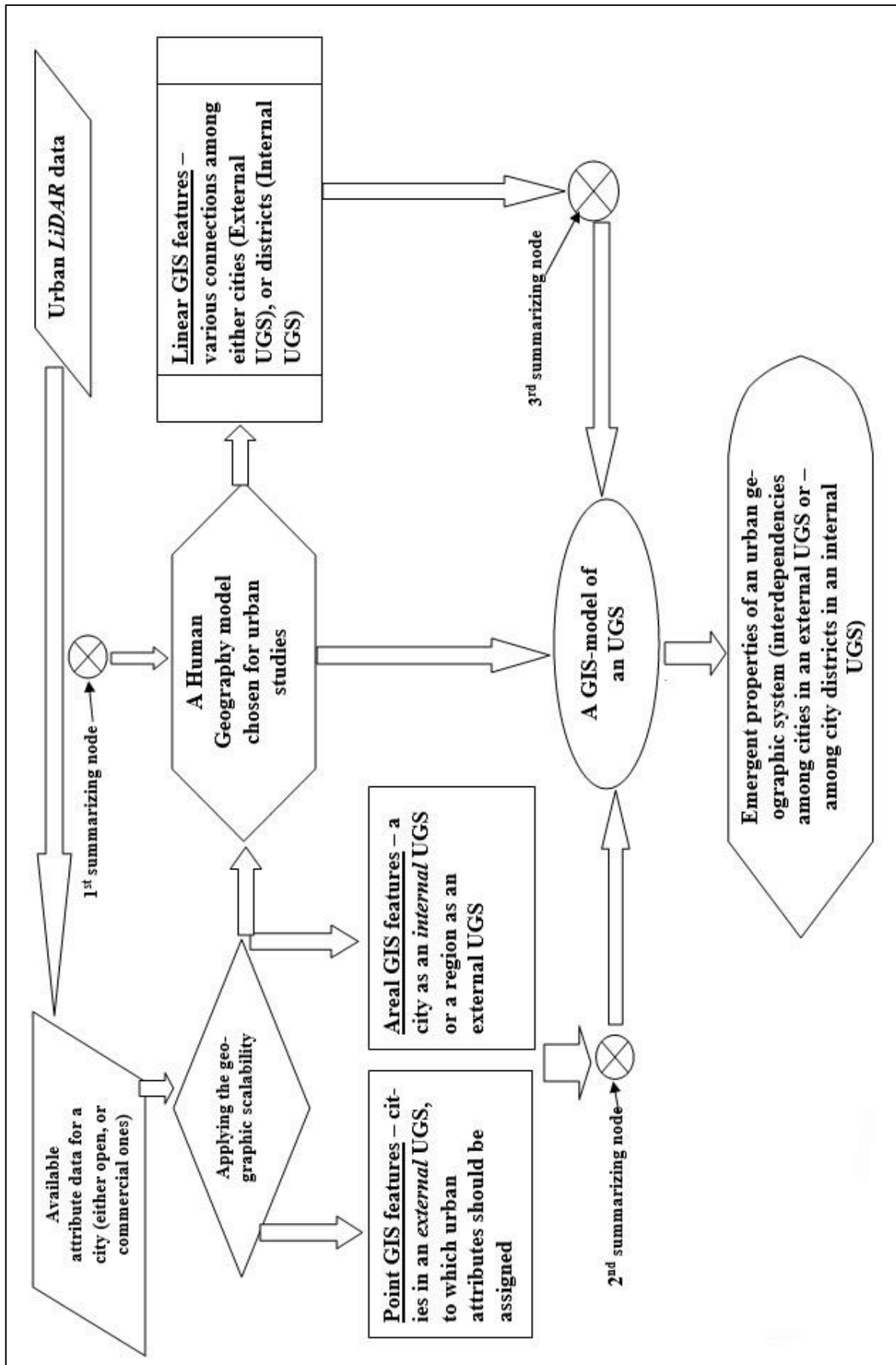


Fig. 2. The algorithmic flowchart of the urban geographic system studies with GIS-tools

This algorithmic flowchart starts with *the first data algorithmic block* – a block of gathering urban LiDAR (Light Direction and Ranging) data. This flowchart block has been already introduced in details as a set of terrain / vegetation / buildings acquisition techniques in one of our previous papers [50]. What is more, since then one of the authors leads the R&D program at the EOS Company (<https://eos.com>), which elaborates the LiDAR data processing web-based software intended for urban studies – the *ELiT* – EOS LiDAR Tool server-client application [28, 29].

The remote sensing information obtained from LiDAR-tools has gradually become to be preferred to traditional photogrammetric tools for the last few decades in many subject areas of interest related to the feature extraction, because of its better operability, productivity, accuracy, and higher resolution [40].

Moreover, these tools have been already applied for urban studies since the beginning of this century [44].

Almost all LIDAR devices are either Airborne types (ALS, aircraft based), or Terrestrial (vehicle based) ones. The latter are also called Mobile Laser Scanning (MLS) devices. The LIDAR unit uses the GPS-high precision and an Inertial Measurement Unit (IMU) to define the placement and measure the attitude of the aircraft in order to determine the ground location of the return pulse. The LIDAR sensor generates a series of point measurements (LiDAR Point Cloud sets) that consists of plain coordinates (X & Y) and the elevation (Z) of both natural and man-made features in the environment. Since we emphasize that AL LiDAR data may be sooner the dominant ones for urban studies, we depict some summarizing content of the LiDAR ALS survey as the following scheme (Fig. 3).

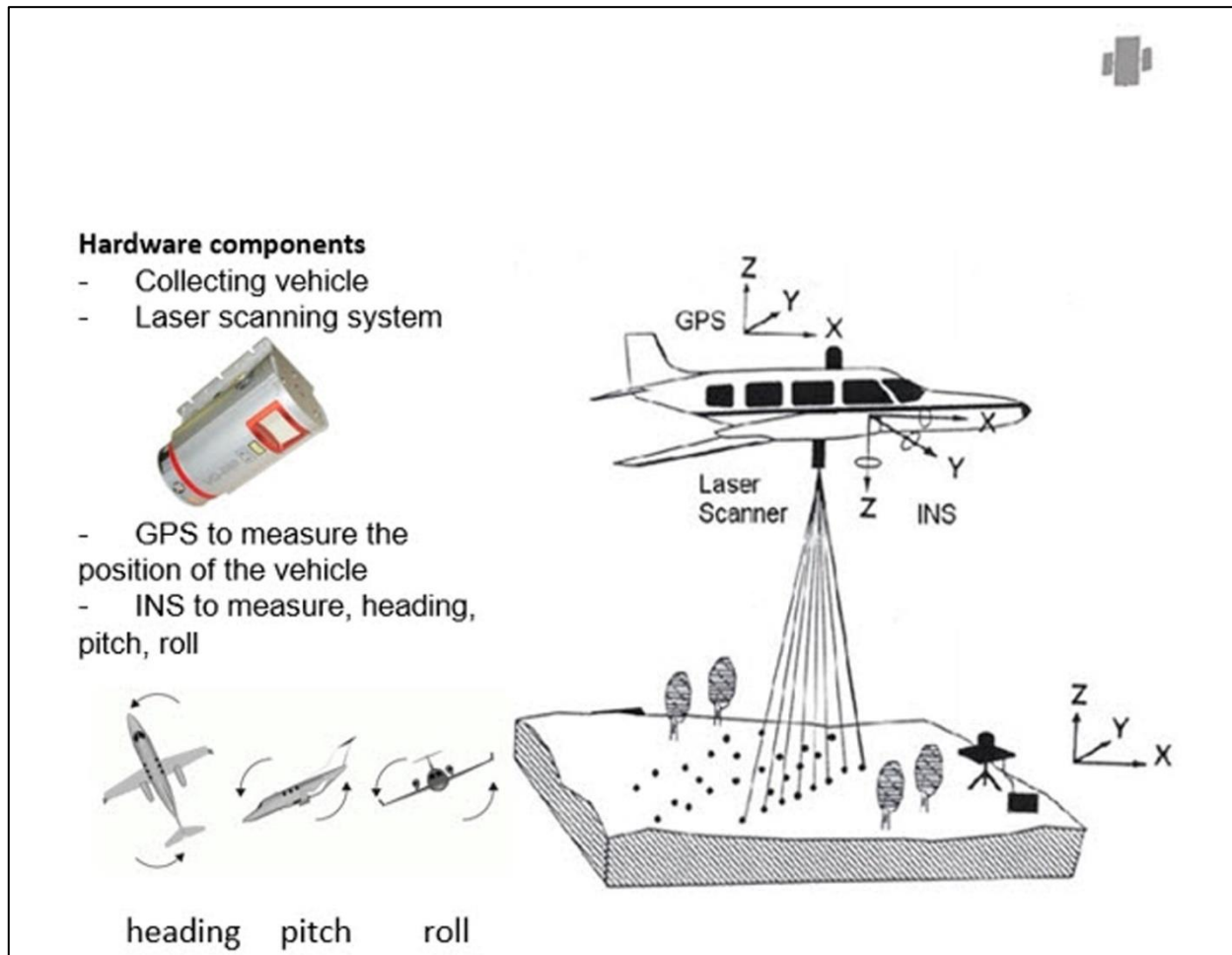


Fig. 3. Airborne LiDAR techniques and operations
(this illustration content originally combined by the authors of this paper)

In our papers previously issued in this subject domain we emphasized that LiDAR remote sensing can broadly be defined as the technique set used to obtain the information about the topographic surface, vegetation, and various features of the human infrastructure at certain distance from them (buildings, bridges,

roads, power lines, etc.) for further processing [28, 29, 50]. This information is usually the result of the low range airborne LiDAR data processing, which has the second return attribute defined. It measures reflected light from distant features to determine the range, and consequently from this information, to determine a

feature position. Ordinary data resolution of our processing technique is between 5 and 90 *LiDAR* points per square meter. One of the principal *LiDAR* data and its further processing contribution is to increase our knowledge of the land surface, vegetation, about those mentioned human infrastructural features and, hence, to improve their use.

While normally photogrammetric techniques rely on remote sensing images, mainly – on the aerial ones, *LiDAR* sensors provide the fundamentals for further generation of 3D building models from point clouds all over various urban areas.

Certainly, any operations within the flowchart first data block are omitted, there is plenty of available attribute data, or the possibility of *LiDAR* data involvement is absent.

Automated feature extraction (AFE) has been the main topics of discussion in papers and in forums during the last one and a half decade. It means, first of all, extraction of city buildings and other infrastructural urban features [2, 9, 30, 32, 37, 38 39, 47]. Now, AFE is still a vitally crucial part of what is done and what people are trying to do better. How have we further progressed with AFE recently? We hope that our paper text will contribute, to a certain extent, to a possible answer to this question.

Derivative data of building extraction together with complicated classified information for the area of interest, gained from these point clouds too, may strongly enhance *the second data algorithmic block* – a block of attributed data for a given city (see Fig.2). Attribute data, representing different characteristics of this city, may be either commercial ones, or those that are in the open access. Attribute properties are prescribed to various types of GIS features according to standardized procedures [25]. Main attribute characteristics for each city (a case of the *external UGS*), or for each district (a case of the *internal UGS*) depict its basic properties, e.g., an urban area size, social geographic properties, including industries, services, transportation, and other features of municipal economies. While we are enhancing city attributes by derivative information obtained on the basis of the *LiDAR* data processing, we enter *the first summarizing node* into this flowchart, which indicates the *initial* key point of geoprocessing. With the *ELiT* web-based software functionality we can prescribe, edit, and visualize a set of various attributes with the *ELiT Viewer* for any urban object modeled from a *LiDAR* point cloud and provide processing of attributes for a whole layer of these objects [29] (Fig. 4):

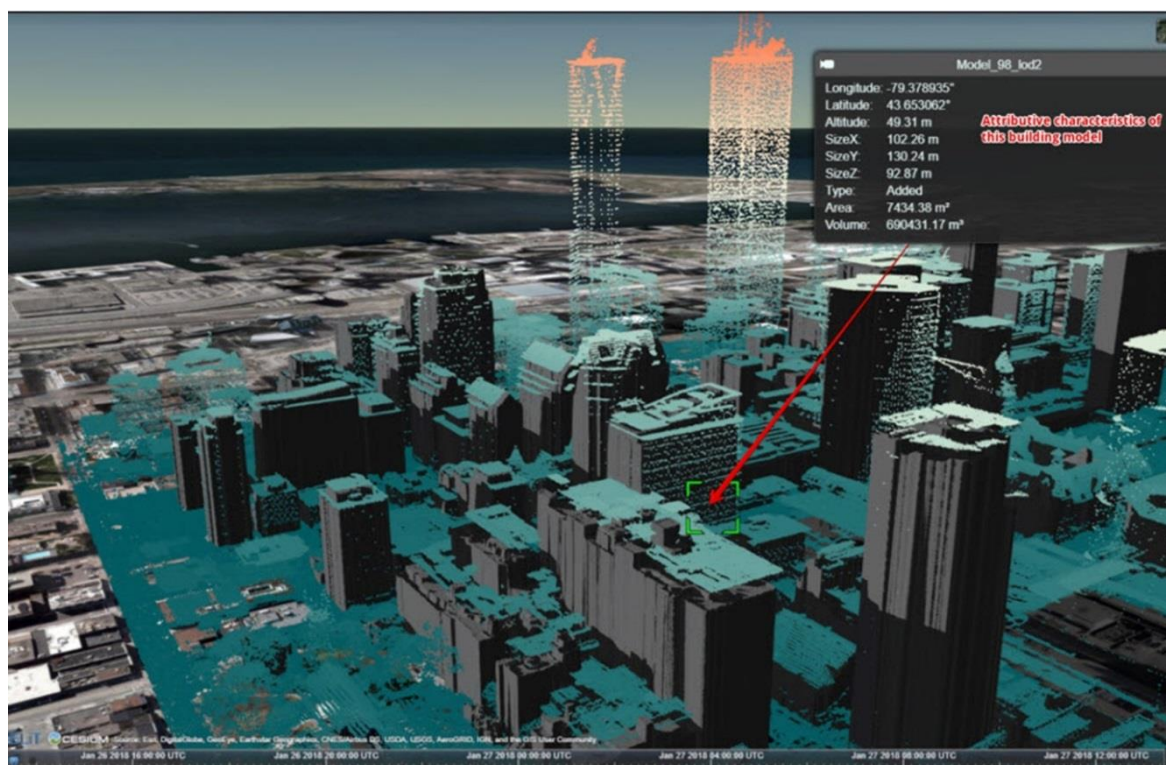


Fig. 4. Visualization of the modeled urban feature attributes by the *ELiT Viewer* of the *ELiT* web-based software

An algorithmic block of the branching *Applying the geographic scalability* directs the flowchart route either to study of the external urbogeosystem, or the internal one. The key issue of this choice is the

availability of two alternatives – we may examine a region with point-cities, or look through a continuing urban area of city districts. Thus, we mainly operate with point GIS-features in the first case, and with

areal features in the second one. This flowchart *second summarizing node* is the *intermediate* key point of geoprocessing, that redirects processing flow either towards modeling an external UGS, or to modeling an internal one.

The core block of flowchart is a subject area model block – *A Human Geography model chosen for urban studies*. A right choice of a proper subject area model prevents us from any probable failure upon the finalizing an ultimate GIS-model of an urbogeosystem. Choosing one among the series of Human Geography models, we need to address the model which provides the most effective and accurate estimate of the existing spatial patterns and regularities according to the content of data entering blocks in our flowchart. In general, a provider of this flowchart can select a required model from both a number of classic urban models (Burgess – 1924, Hoyt – 1939, Ullman and Harris – 1945, etc.), and from some updated ones, such as “land value / bid rent model”, “model of multiple-nuclei urban structure”, “urban realms model” [1, 4, 13]. Applying the scalability together with a selected subject area model allows us to obtain an initial set of linear linkages among these urban system units. Before the final completion of an UGS GIS-model these linear GIS-features have to be exposed to *final* geoprocessing at *the third summarizing node* of a flowchart. The final flowchart block of visualization – *Emergent properties...* - in the optimal case has to expose the core structural properties of an urban geographic system by visualizing it either in a map window, or in a graphic window, as well as in a browser window of a graphic user interface.

A case study of the external urbogeosystem. In two following paper sections we take a few examples of both external and internal urban geographic systems of Kharkiv region, Eastern Ukraine, to demonstrate in what way the geoinformation approach to UGS research can be provided in a practical perspective. Two from these authors have already published some unique results due to the regional commuting modeling by GIS *MapInfo Professional* [26].

By developing further Renkow-Hoover’s model of commuting [35] and representing corresponding mathematical techniques, we introduced the spatial econometric analysis for commuting study directed to a regional workforce market. It has been proved that both labor migration and commuting are two dominant issues for studying any workforce market, either at the national level, or at its regional one. What is more, in our attempts to understand a regional migration level, we should select just commuting as its dominant trend. The elaborated model has assisted to estimate a rough number of regular daily-weekly commuters to the central one and other cities in the region in 2012-2014.

Built within the research referred to framework a detailed geodatabase (GDB) of the social geographic properties of the region significantly assisted in determination by the flowchart above (refer to Fig. 2) of the external UGS spatial distribution / interaction pattern completed by main individual cities of this area. With three summarizing nodes of the flowchart, which finally built the interactive structure of GIS-linear features, key cities of the regional nodal network, accepted as an external UGS core, have been defined by analyzing all initial linkages and derivative interdependencies among all city pairs in the region.

Strong spatial correlation has been defined between a city nodal rank, which it possesses in the external UGS and the value of commuting density (a number of commuters per sq. km) introduced by us in the previous publication referred to [26]. Afterwards a number of interactions for each county center with all its neighboring settlements was calculated, valued, and ranked.

The *MapBasic* programming language module has been developed for this purpose, and results of its application are visualized in the next illustration (Fig. 5). Five classes of nodal cities have been defined in the GDB on the basis of commuting density value spatially modeled for their neighboring areas. Randomly selected, spatially referenced point values of commuting density bounded to a settlement (a city or a village), which was completed at *A GIS-model of an urbogeosystem* block of the flowchart (refer to Fig. 2), have been finalized with the following results of a spatial GIS-classification (refer to Fig. 5):

- Taking into account the contemporary economic situation in Ukraine (the drastically forced labor migration from rural to urban areas), the highest values of commuting density (the first class) were prescribed by default to all urban areas of county centers in the region (red square symbols both in the map, and in the classifying legend – refer to Fig. 5);
- *The first class* (300 – 492 commuters per sq. km) – there are 4 spatially referenced point values of commuting density in city neighboring areas belonging to this class;
- *The second class* (18-300 commuters) – 23 point values;
- *The third class* (2-18 commuters) – 8 point values;
- *The fourth class* (1-2 commuters) – 22 point values;
- *The fifth class* (0-1 commuters) – 62 point values.

The key assumption is that commuting density around a certain urban area should reflect a nodal weight of a corresponding city. Such an assumption may be made proceeding from common references about some connection existing between the degree

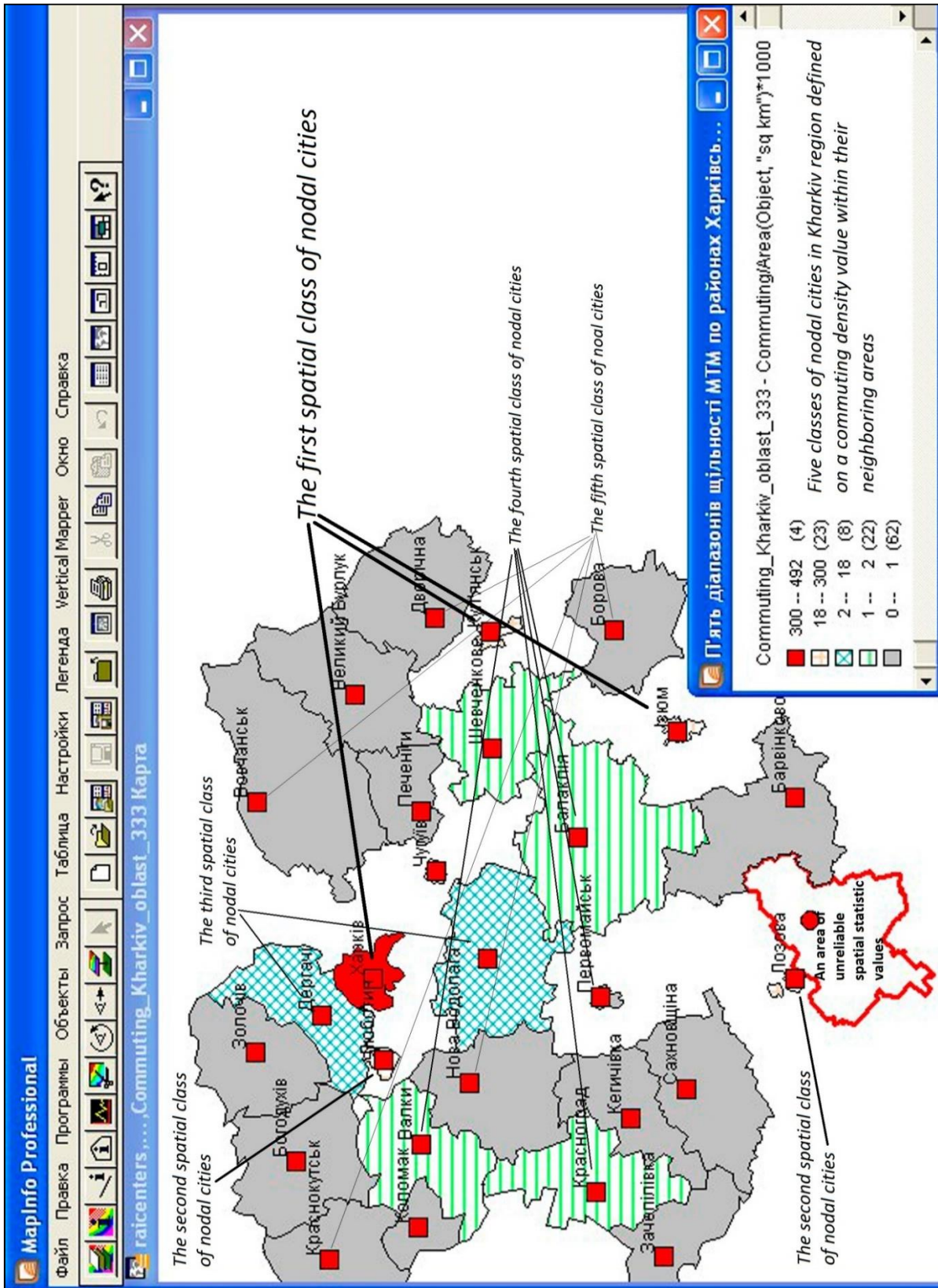


Fig. 5. Spatial classification of nodal cities in the external urban geographic system of Kharkiv region in MapInfo GIS

of commuting activity in a certain area and a number of interactions of a given city, which is the aim of commuters [20, 21]. For proving the reliability of city nodal weighting definition through commuting values we attempted to define *spatial correlation ratios* between point values belonging to each class, on the one hand, and a number of significant interactions for each city from this class. The interaction significance was determined at *Linear GIS features* block of the flowchart according to modeling technique of *the urban geosystem of two levels GIS-model* published earlier (Костріков, 2016). The first class possesses the aggregated correlation ratio value of 0.645; the second class – 0.747, the third class – 0.710, the fourth class – 0.797, and the fifth – 0.891. All classes of spatial ratios have been defined as statistically significant, if we apply to the variety of their separate point values bounded to a certain cities Student's t-criterion of the correlation ratio significance.

Those administrative counties that demonstrated the lack of aggregated data according to these two criteria – commuting values and a number of significant interactions – are depicted as blank spaces on the map (See Fig. 5). Some cities were included in modeling based on the territory directly adjacent to a city, not a whole country area (a case of Kupiansk, Iziium, Lozova, Pervomaisk, and Liubotyn). Chuguiv has been excluded from calculations, because the adjacent territory, where commuting density can be reliably estimated, is extremely small. One county (Blyzniuky as a county center) showed an unreliable correlation ratio between the two basic parameters, and it was excluded from modeling (bordered by a red line in the map – Fig. 5).

Proceeding from two interactive factors outlined above, we have provided the following spatial classification of *nodal cities and their neighboring territories*, which nodal rank is diminished from the first class to the fifth one. The “nodal cities + adjacent areas” classes of the external UGS possess the following cities of Kharkiv region:

- *The first class:* Kharkiv-City; Iziium, and Kupiansk;
- *The second class:* Liubotyn, Lozova;
- *The third class:* Derhachi, Zmiiv;
- *The fourth class:* Valky, Krasnograd, Pervomaisk, Balakliya;
- *The fifth class:* Krasnokutsk, Vovchansk, Nova Vodolaga, Borova, and Dvurichna.

Both *nodal cities ranging* and their spatial distribution over Kharkiv region generally correspond to known social economic regularities in the area, but nonetheless it also demonstrates some deviations, which should be a subject of further research.

Case studies of the internal urbogeosystem of Kharkiv-City. Two other applied examples

introduced in this paper are related to the internal UGS of Kharkiv-City.

In the first example of the internal UGS study the LiDAR data obtained from both an aircraft (airborne LiDAR – ALS data), and from a mobile surface vehicle (MLS data) have been processed by our original software, developed by one of the leading authors and presented in our earlier paper [50]. Processed results were employed for estimation of architectural dynamics of Kharkiv-City and for enhancement of the available attribute data for the city according to the first two blocks of the flowchart of the urbogeosystem study (refer to Fig. 2).

Not the *ELiT* web-based software, but our desktop LiDAR data processing application, developed few years earlier, has been employed. The *Surface Detector tool* of this software is designed to deal with the low range airborne LiDAR data that has the second return attribute defined. Normal data resolution of the developed technology is between 5 and 80 *LiDAR* points per square meter, which means some advantage in comparison with most of the similar techniques existed [37, 39, 40]. *The Building Extractor tool* is designed to operate with both the low range ALS and the MLS data. The approach aims to produce the output building models with resolution of 35 cm approximately. This supposes that the input MLS data should have the resolution of 400 points per square meter or more. The approach also intends to build the colorized planes (images) based on RGB attribute of MLS data to be draped on a building model. This assumes that the input MLS data should have the RGB attribute assigned to each data point. Testing MLS-survey provided within an area-of-interest (AOI) - a selected key parcel of Kharkiv-City proves the reliability of its results (Fig. 6).

Procedures of the LiDAR point cloud AFE and classification have been provided further on the base of testing surveys described above. In the following example for a test site, which belongs to Kharkiv urban area, the LiDAR data processing desktop software assigns point objects to *one* certain class from *four* nominated (i.e. *ground, vegetation, buildings, other human infrastructure*) (Fig. 7).

Successful spatial classification secures further applying of thematic GIS-mapping and allows us to provide prompt visual data analysis “on fly”. Then any particular class of defined points can be put into a separate mapping layer for further processing. As a final output, a number of pseudo-vector files (of *.3D Obj* format) are produced, where each file represents one separate building extracted while processing from LiDAR. These files reference to separate image files. The latter contains textures to be draped on the 3D models. 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 the geographic scalability procedure (refer to Fig. 2).

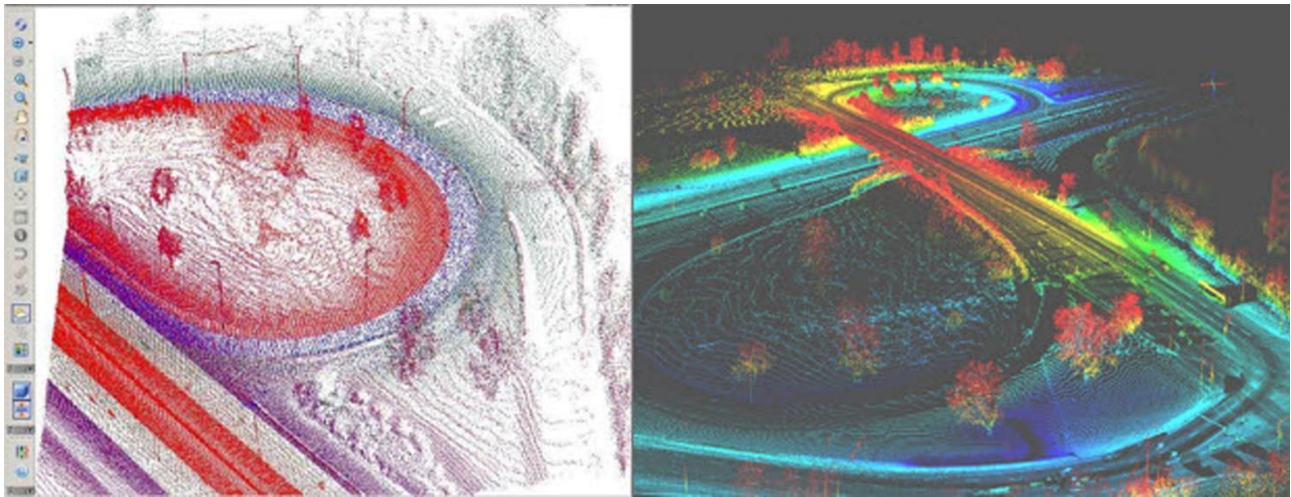


Fig. 6. Environmental survey with MLS processed results for a chosen AOI: ground cover, low and high vegetation belt, surface human infrastructure

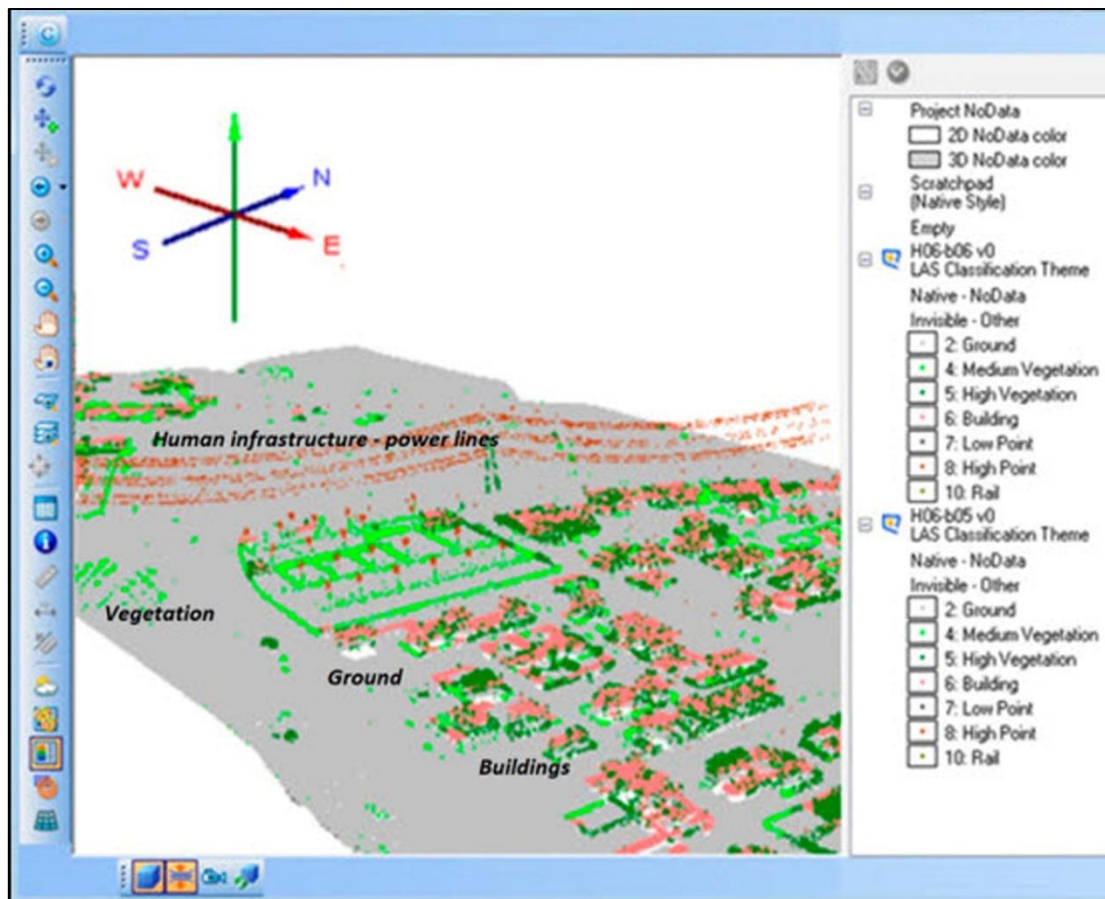


Fig. 7. Results of LIDAR data automated classification for a test site

With respect to the case study examined, the high-resolution LiDAR data generated from the point clouds have been proved to be the most efficient information for automated extraction of buildings in densely built-up parts of Kharkiv urban territory in comparison with any other remote sensing data.

Any significant changes in the spatial structure of the internal UGS mean changes in social economic attributes of a city. The latter understandably can be

traced by monitoring city architectural modifications. All aforementioned in this paper section explains, why architectural alterations in the optimal way should be monitored by application of LiDAR tools thus enhancing the quality of whole city attribute data.

The second example concerning the internal UGS study, introduces this urbogeosystem function research with GIS-tools through a megalopolis

urbanized area. In this case, the arrangements of catering services over the urban area of Kharkiv have been examined as a urbogeosystem function [48]. The municipal social sphere, which includes these services, has been described as a key city attribute

according to the second data block of the flowchart. Geoprocessing, analysis, and visualization of the catering services spatial distribution has been completed within an advanced GIS-interface of the *ArcGIS 10.2* platform (Fig. 8).

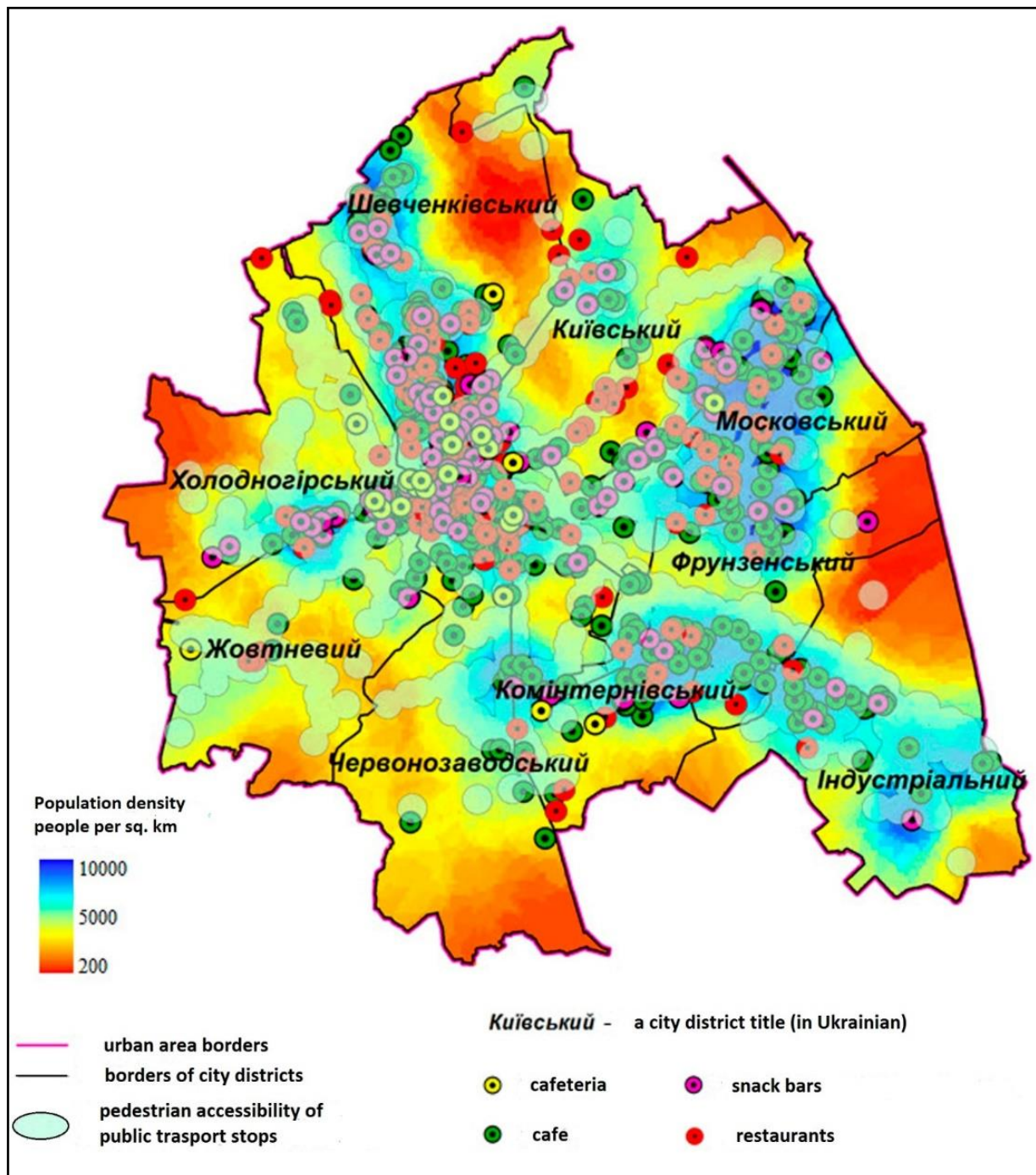


Fig. 8. Mapping overlay of spatial distributions of population density (raster layer), catering services (vector features), and buffer zones of pedestrian availability along main routes of public transport network: a case study of Kharkiv-City [48, p. 97]

Spatial distribution of the urban population density and population income, as well as spatial characteristic features of the city public transport network have proved to be three key factors of the catering services allocation (only statistically estimated the

most visited ones have been selected for visualization).

At the first sight, it is reasonable for municipal authorities to place catering services in the place where townsmen change public transport for walking

(and opposite) upon their daily routes. Such allocation upon the factor of mandatory pedestrian availability (5-7 minutes of walking and 400-500 m of distance) provides complete covering of all customers independently of city district borders. To check this rule of catering services allocation we have built 400 m buffer zones by the Zone buffering methods around each public transport stop and merge all zones into one mapping layer all over the city with assistance of *ArcGIS tools* [17].

We overlaid both factor layers, and a resulted layer of spatial correlation to reveal the internal UGS emergent properties caused by its functionality. The final overlaid picture of spatially correlated three factor layers (population density, pedestrian accessibility of public transport stops, and intracity borders of districts) and one resulted layer (catering services allocation) is shown above (refer to Fig. 8). Topological and geometric regularities of defined spatial zones of catering services distribution indicate definite impact of the urban geosystem functionality on this distribution. This impact consists in such topological entity generation though a whole urban area as a “six petal flower” of these services spatial distribution. Had catering services been allocated only on the base of municipal socio-economic rules mentioned above, any topological definite entity would have hardly been defined over a whole urban area. It means that spatial structure of city districts as components of an internal urbogeosystem does impact social infrastructure allocation throughout an urban area.

Results and conclusion. The authors of this paper have further developed the concept of the geoinformation approach to the study of two-level urban geographic systems. The authors have attempted to prove that an urban geographic system itself is not merely a straightforward aggregate of either cities upon the external case study, or city districts in the internal one. The whole methodological approach can be considered as some general outlining in what way to use a geoinformation software for the analysis of an urban geographical system. Analytical capabilities of the geoinformation software, both desktop and

web-based one, for an UGS, have been listed and briefly discussed with the emphasis on the LiDAR data processing operational procedures. The proposed urbogeosystem concept may appear highly essential for both visual research, and a set of different analysis applied for urban areas, including, for instance, city planning, urban viewshed analysis, municipal properties inventory, allocation of transportation network and other infrastructure, facility management, etc.

Within this research provided we have completed the following issues:

- Brief summary of the GIS and LiDAR data processing software contemporary performance in urban studies focused on some specific issues of this technique application;
- Introduced GIS-approach to urban studies has been further developed and additionally proved to be a significant constituent of the Human Geography methodology;
- The definition of an urban geographic system has been specified and theoretically grounded more in details in comparison with its earlier introduction;
- Basics of GIS-primitive features use in urban studies have been extended further;
- Template algorithmic sequence for the UGS research with GIS has been proposed, accurately explained and proved;
- Two levels of an urbogeosystem (external and internal ones) outlined earlier have been featured with applied examples;
- A regional case study of the external UGS of Kharkiv region has been provided with *GIS MapInfo* tools;
- Two urban case studies of the internal urbogeosystem of Kharkiv-City have been introduced – one with the original software of LiDAR data processing for enhancement of the city attribute data, and the other – with *ArcGIS* spatial analysis tools for estimation of the urbogeosystem functionality impact on spatial distribution of some socio-infrastructure objects and services.

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

References

1. Allen, P. M. *Urban Evolution, Self-Organization, and Decision making [Text]* / P. M. Allen, M. Sanglier // *Environment and Planning*. – 1981. – Vol. 13. – P. 167-83.
2. Awrangjeb, M. *Rule-based segmentation of LiDAR point cloud for automatic extraction of building roof plane [Text]* / M. Awrangjeb, C. S. Fraser // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – Vol. II-3/W3. – 2013. – P. 1-6.
3. Batty, M. *Systems Analysis in Urban Policy Making and Planning [Text]* / M. Batty, B. Hutchinson. – London – NY : Plenum Press, 1982. – 617 p.
4. Bertuglia, C. S. *Urban Dynamics : Designing an Integrated Model [Text]* / G. Leonardi, A. G. Wilson (Editors). – London / NY : Routledge. – 1990. – 438 p.
5. Biljecki, F. *Applications of 3D City Models : State of the Art Review [Text]* / F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux et al. // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2015. – Vol. 4. – P. 2842-2889.

6. Billen, R. *3D City Models and urban information: Current issues and perspectives* [Electronic resource] / R. Billen, A. F. Cutting-Decelle, O. Marina et al. // *European COST Action TU0801. ESF*. – Retrieved from <https://ru.scribd.com/document/306099832/3D-City-Models-and-Urban-Information-Book> – 2017.
7. Bourne, L. S. *Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy* [Text] / L. S. Bourne, J. W. Simmons. – Oxford : Oxford University Press, 1978. – 565 p.
8. Bozeman, B. *Scientific and technical information and urban policy-making* [Text] / B. Bozeman // *Urban Systems*. – 1978. – Vol. 4. – No 3. – P. 161-172.
9. Cao, R. *Roof plane extraction from airborne lidar point clouds* [Text] / R. Cao, Y. Zhang, X. Liu, Z. Zhao // *International Journal of Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 38. – No. 12. – P. 3684-3703.
10. Carbajales, P. *Introduction to GIS for Urban Studies (URBANST 164)* [Electronic resource]. Stanford Geospatial Center. – Retrieved from <https://sites.google.com/site/stanfordgis2013/introuurbanstudies> – 2013.
11. Cheng, T. *Advances in geocomputaion (2006-2011)* [Text] / T. Cheng, J. Haworth, E. Manley // *Computers, Environment and Urban Systems* – 2012. – Vol. 36. – P. 481-487.
12. Cliff, A. D. *Spatial Processes, Models, and Applications* [Text] / A. D. Cliff, J. K. Ord. – London : Pion, 1973. – 395 p.
13. Douven, W. *Urban and regional planning models and GIS* [Text] / W. Douven, M. Grothe, P. Nijkamp, H. Scholten (Editors) // *Diffusion and use of geographic information technologies*. – 1993. – Dordrecht, Kluwer. – P. 317-37.
14. Du, G. Q. *A Study on the relationship of regional urbanization and socio-economic structure in China* [Text] / G. Q. Du // *Annals of Japanese Association of Economical Geographers* – 1997. – Vol. 43. – P. 151-164.
15. Du, G. *Using GIS for analysis of urban system* [Text] / G. Du // *GeoJournal*. – 2001. – Vol. 52. – P. 213-221.
16. ESRI. *Geoprocessing in ArcGIS – Redlands* [Text]. California : ESRI Press, 2006. – 370 p.
17. ESRI. *ArcToolBox Window basics* [Electronic resource]. – Retrieved from http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=618&pid=616&topicname=ArcToolbox_window_basics – 2017.
18. Groger, G., *OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard Version 2.0.0* [Text] / G. Groger, T. H. Kolbe, C. Nagel, K. H. Höfele // *Open Geospatial Consortium, OGC Doc*. – 2012. – No. 12-019.
19. Helly, W. *Urban Systems Models* [Text] / W. Helly. – L-NY : Academic Press, 1975. – 196 p.
20. Henley, A. *Residential Mobility, Housing Equity and the Labour Market* [Text] / A. Henley // *Economic Journal*. – 1998. – Vol. 108. – P. 414-427.
21. Hincks, S. *The Spatial Interaction of Housing and Labour Markets: Commuting Flow Analysis of North West England* [Text] / S. Hincks, C. Wong // *Urban Studies*. – 2010. – Vol. 47. – No. 3. – P. 620 – 649.
22. Hofierka, J. *A new 3-D solar radiation model for 3-D city models* [Text] / J. Hofierka, M. Zlocha. // *Trans. GIS* 2012. – No. 16. – P. 681-690.
23. Hua, C. I. *Critical review of the development of the gravity model* [Text] / C. I. Hua, F. A. Porell // *International Regional Science Review*. – 1979. – Vol. 4. – P. 97-126.
24. *ITC Educational Textbook Series. Principles of Geographic Information Systems* [Text] / O. Huisman, R. A. de By (editors.). – Enschede, The Netherlands, 2009. – 540 p.
25. Kostrikov, S. *Attributive data for GIS and definition of the fluvial topography morphological-morphometric characteristics* [Text] / S. Kostrikov // *GEOINFORMATIKA, Journal of Ukrainian division of EGIS*. – 2004. – No 4. – P.70-77.
26. Kostrikov, S. *GIS-modelling of regional commuting (a case study of Kharkiv region)* [Text] / S. Kostrikov, K. Sehida // *Actual Problems of Economics. Scientific economic journal*. – 2016 – Vol.186. – No. 12. – P. 399-410.
27. Kostrikov, S. *Human geography with geographical geoinformation systems* [Text] / C. Костриков, К. Сєзидя // *Ча-сонис соціально-економічної географії*. – 2013. – Bun. 15 (2). – С. 39-47.
28. Kostrikov, S. *Three Key Processing Functionalities of the EOS LiDAR Tool* [Text] / S. Kostrikov, D. Bubnov, A. Kostrikova, R. Pudlo // *Technical Session : LiDAR Data Processing*. – *Proceedings of 39th Asian Conference on Remote Sensing, 15-19 Oktober 2018, Renaissance Kuala Lumpur Hotel*. – 2018. – P. 406.
29. 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, 2018b*. – Vol. 3. – P. 1676-1685.
30. Lafarge, F. *Creating large-scale city models from 3D-point clouds: A robust approach with hybrid representation* [Text] / F. Lafarge, C. Mallet // *International Journal of Computer Vision*. – 2012. – Vol. 1. – P. 69-85.
31. Liang, J. *An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System* [Text] / J. Liang, J. Gong, J. Zhou, A. N. Ibrahim, M. Li // *Environmental Modelling Software*. – 2015. – Vol. 64. – P. 94-101.
32. Li, Y. *An improved building boundary extraction algorithm based on fusion of optical imagery and LIDAR data* [Text] / Y. Li, H. Wu, R. An, H. Xu, Q. He, J. Xu // *Optik*. – 2013. – Vol. 124. – P. 5357- 5362.
33. Murayama, Y. *Geography with GIS* [Text] / Y. Murayama, H. Kohsaka and Y. Murayama (editors), *GIS : contribution to geography* – Tokyo, 2001. – P. 1-22.
34. O'Looney, J. *GIS and decision making in local government* [Text] / J. O'Looney – *Redlands, Calif. : ESRI Press, 2000*. – 262 p.
35. Renkow, M. *Commuting, migration, and rural-urban population dynamics* [Text] / M. Renkow, D. Hoover // *Journal of Regional Science* – 2000 – Vol. 40. – No. 2 – P. 261-287.
36. Sadahiro, Y. *Spatial analysis and GIS* [Text] / Y. Sadahiro, H. Kohsaka and Y. Murayama (eds), *GIS : contribution to geography* – Tokyo, 2001. – P. 284-299.

37. 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.
38. Satari, M. A multi-resolution hybrid approach for building model reconstruction from LIDAR data [Text] / M. Satari, F. Samadzadegan, A. Azizi, H. G. Maas // *The Photogrammetric Record*. – 2012. – Vol. 27. – N 139. – P. 330–359.
39. Shan, J. Urban DEM generation from raw LIDAR data: a labeling algorithm and its performance [Text] / J. Shan, A. Sampath // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2005. – Vol. 71. – No 2. – P. 217–226.
40. Taylor, G. Modelling and prediction of GPS availability with digital photogrammetry and LiDAR [Text] / G. Taylor, D. Kidner, K. Brundsdon // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2007. – Vol. 21, No. 1 – P. 1–20.
41. Tomlinson, R. F. Current and potential uses of geographical information systems: the North American experience [Text] / R.F. Tomlinson // *International Journal of Geographical Information Systems*. – 1987. – Vol. 1. – No.3. – P. 203-218.
42. Tomlinson, R. Thinking about GIS. Third Edition [Text] / R. Tomplison – Redlands: ESRI Press, 2009. – 254 p.
43. Unger, J. Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database [Text] // *International Journal of Environmental Pollution*. – 2009. – Vol. 36 – P. 59.
44. 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.
45. Walloth, C. Understanding Complex Urban Systems: Integrating Multidisciplinary Data in Urban Models [Text] / C. Walloth, E. Gebetsroither-Geringer, A. Atun (Editors). – L-NY : Springer, 2016. – 148 p.
46. Wellar, B. S. Urban data management systems. In *Canada : A federal perspective* [Text] / B. S. Wellar // *Papers from the 12th Annual URISA Conference, Urban and Regional Information Systems : Resources and Results, Vol. 1, Montreal, 1975*. – P. 377-391.
47. Zarea, A. A Novel Building and Tree Detection Method From LiDAR Data and Aerial Images [Text] / A. Zarea, A. Mohammadzadeh // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 9. – No 5. – P. 1864-1875.
48. Безрук, В. А. 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.
49. Костріков, С. В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля [Текст] : наукова монографія / С. В. Костріков. – Харьков: Вид-во ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. – 484 с.
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. Костріков, С. В. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС [Текст] / С. В. Костріков, О. С. Чуєв // *Вісник ХНУ. Серія : Геологія – Географія – Екологія*. – Харків : Видавництво ХНУ, 2016. – Вип. 44 – С. 98-109.

UDC 004.9+004.451+911.3+502.22

Sergiy Kostrikov,

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

EOS Data Analytics Ukraine, LLC, 31 Alchevskiyh St., Kharkiv, 61002, Ukraine,
e-mail: sergiy.kostrikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>;

Liudmyla Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: ludmila.niemets@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Kateryna Sehida,

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: kateryna.sehida@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Kostyantyn Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: konnem1948@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

Cezar Morar,

PhD (Geography), Associate Professor, University of Oradea, Faculty of Geography, Tourism and Sport,
1 University St., C., Hall Office 221, Oradea, 410087, Romania,
e-mail: cezarmorar@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0211-5883>

GEOINFORMATION APPROACH TO THE URBAN GEOGRAPHIC SYSTEM RESEARCH (CASE STUDIES OF KHARKIV REGION)

Research problem introduction. The main research goal of this paper is to provide the urban geosystem research concept with both the theoretical basics presentation of GIS involvement in urban studies, and with examples of its practical applications.

An urbogeosystem (UGS) has been presented not as a simple aggregate of cities, but as the emergent entity that produced complicated interconnections and interdependencies among its constituents. By the urbogeosystem concept the authors attempt to introduce a reliable research approach that has been deliberately developed to identify the nature and spatial peculiarities of the urbanization process in a given area. The expediency of this concept elaboration is listed by the number of needs and illustrated with ordinary 2D digital city cadaster limitations. The methodological background has been proposed, and its derivative applied solutions meet the number of necessities for more efficient urban mapping, city understanding, and municipal management.

The geoinformation concept of the urban geographic system research. External and internal urbogeosystems. The authors explain why an UGS can be formalized as three major components: an aggregate of point features, a set of lines, an aggregate of areal features. The external UGS represents a set of cities, the internal one – a set of delineated areas within one urban territory.

Algorithmic sequence of the urbogeosystem study with a GIS. The authors introduce algorithmic sequence of research provision with GIS, in which the LiDAR data processing block has been examined in the details with the procedure of the automated feature extraction explanation. Relevant software user interface sample of the visualization of the urban modeled feature attributes is provided.

A case study of the external urbogeosystem. The regional case study of the external urbogeosystem modeling is introduced with GIS *MapInfo Professional*. The authors present the spatial econometric analysis for commuting study directed to a regional workforce market. The results of the external UGS research mainly correspond to some published social economic regularities in the area, but nonetheless it also demonstrates significant deviations that may be explained by this system's emergent properties.

Case studies of the internal urbogeosystem of Kharkiv-City. Two case studies of the internal urbogeosystem of Kharkiv City have been demonstrated, too. In the first one, automated feature extraction provided by the authors' original software from LiDAR data has been applied for modeling this UGS content throughout a densely built-up urban parcel. In another case the GIS-analysis of the urbogeosystem functional impact on the catering services spatial distribution has been provided with the *ArcGIS* software.

Results and conclusion. Summarizing all primary and derivative data processed with this technique as well as generalizing key ideas discussed in the text, the authors underline this whole methodological approach as such that can be considered as a general outlining showing how to use geoinformation software for the analysis of urban areas. Concluding their research, the authors emphasize that the urbogeosystem concept may be quite useful for visualization and different analysis applied for urban areas, including city planning, facility and other municipal management methods. The short list of the obtained results has been provided at the end of the text.

Keywords: urbogeosystem, GIS, geoinformation approach, urban studies, algorithmic sequence, LiDAR, external and internal urban geosystems, case studies.

References

1. Allen, P. M., Sanglier, M. (1981). *Urban Evolution, Self-Organization, and Decision-making*. *Environment and Planning*, 13, 167-83.
2. Awrangjeb, M., Fraser, C. S. (2013). *Rule-based segmentation of LiDAR point cloud for automatic extraction of building roof plane // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-3/W3, 1-6.*
3. Batty, M., Hutchinson, B. (1982). *Systems Analysis in Urban Policy Making and Planning*. London / NY: Plenum Press, 617.
4. Bertuglia, C. S., Leonardi, G., Wilson, A. G. (1990). *Urban Dynamics: Designing an Integrated Model*. London / New York: Routledge, 438.
5. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., et al (2015). *Applications of 3D City Models: State of the Art Review*. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, 2842-2889.
6. Billen, R., Cutting-Decelle, A. F., Marina, O. et al. (2017) *3D City Models and urban information: Current issues and perspectives*. *European COST Action TU0801*. ESF. Available at : <http://ru.scribd.com/document/306099832/3D-City-Models-and-Urban-Information-Book>.
7. Bourne, L. S., Simmons, J. W. (1987). *Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy*. Oxford: Oxford University Press, 565.
8. Bozeman, B. (1978). *Scientific and technical information and urban policy-making*. *Urban Systems*, 4, 3, 161-172.
9. Cao, R., Zhang, Y., Liu, X., Zhao, Z. (2017). *Roof plane extraction from airborne lidar point clouds*. *International Journal of Remote Sensing*, 38 (12), 3684-3703.
10. Carbajales, P. (2013). *Introduction to GIS for Urban Studies (URBANST 164)*. Stanford Geospatial Center. Available at : <https://sites.google.com/site/stanfordgis2013/introubanstudies>
11. Cheng, T. et al. (2012). *Advances in geocomputation (2006-2011)*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36, 481-487.
12. Cliff, A. D., Ord, J. K. (1973). *Spatial Processes, Models, and Applications*, London, 395.
13. Douven, W., Grothe, M., Nijkamp, P., Scholten, H. (1993). *Urban and regional planning models and GIS. Diffusion and use of geographic information technologies*, 317-37.
14. Du, G. Q. (1997). *A Study on the relationship of regional urbanization and socio-economic structure in China*. *Annals of Japanese Association of Economical Geographers*, 43, 151-164.
15. Du, G. (2001). *Using GIS for analysis of urban system*. *GeoJournal*, 52, 213-221.
16. ESRI (2006). *Geoprocessing in ArcGIS*. California: ESRI Press, 370.
17. ESRI. *ArcToolBox Window basics* (2017). Available at : http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=618&pid=616&topicname=ArcToolbox_window_basics.
18. Groger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., Höfele, K. H. (2012). *OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version 2.0.0*, Open Geospatial Consortium, OGC Doc, 12-019.
19. Helly, W. (1975). *Urban Systems Models*. London / New York: Academic Press, 196.
20. Henley, A. (1998). *Residential Mobility, Housing Equity and the Labour Market*. *Economic Journal*, 108, 414-427.
21. Hincks, S., Wong, C. (2012). *The Spatial Interaction of Housing and Labour Markets: Commuting Flow Analysis of North West England*. *Urban Studies*, 47, 3, 620 - 649.
22. Hofierka, J., Zlocha, M. (2012). *A new 3-D solar radiation model for 3-D city models*. *Trans. GIS*, 16, 681-690.
23. Hua, C. I., Porell, F. (1979). *A critical review of the development of the gravity model*. *Int. Reg. Sci. Rev*, 4, 97-126.
24. ITC Educational Textbook Series (2009). *Principles of Geographic Information Systems*. Enschede, The Netherlands, 540.
25. Kostrikov, S. (2004). *Attributive data for GIS and definition of the fluvial topography morphological-morphometric characteristics*. *GEOINFORMATIKA, Journal of Ukrainian division of EGIS*, 4, 70-77.
26. Kostrikov, S., Sehida, K. (2016). *GIS-modelling of regional commuting (a case study of Kharkiv region)*. *Actual Problems of Economics. Scientific economic journal*, 186(12), 399-410.
27. Kostrikov, S., Sehida, K. (2013). *Human geography with geographical geoinformation systems*, *Chasopus sotsialno-ekonomichnoi geographii. Human Geography Journal*, 15(2), 39-47.
28. Kostrikov, S., Bubnov, D., Kostrikova, A., Pudlo, R. (2018). *Three Key Processing Functionalities of the EOS LiDAR Tool*. *Technical Session: LiDAR Data Processing. Proceedings of 39th Asian Conference on Remote Sensing, 15-19 October 2018, Renaissance Kuala Lumpur Hotel, 406.*

29. 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.
30. Lafarge, F., Mallet, C. (2012). *Creating large-scale city models from 3D-point clouds: A robust approach with hybrid representation. International Journal of Computer Vision*, 1, 69-85.
31. Liang, J., Gong, J., Zhou, J., Zhou, J., Ibrahim, A. N., Li, M., Li, M. (2015). *An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System. Environmental Modeling Software*, 64, 94-101.
32. Li, Y., Wu, H., An, R., Xu, H., He, Q., Xu, J. (2013). *An improved building boundary extraction algorithm based on fusion of optical imagery and LIDAR data*, 124, 5357-5362.
33. Murayama, Y. et al (2001). *Geography with GIS. GIS: contribution to geography. Tokyo*, 1-22.
34. O'Looney, J. (2000). *GIS and decision-making in local government, Redlands, Calif.: ESRI Press*, 262.
35. Renkow, M., Hoover, D. (2000). *Commuting, migration, and rural-urban population dynamics. Journal of Regional Science*, 40(2), 261-287.
36. Sadahiro, Y. (2001). *Spatial analysis and GIS. GIS: contribution to geography, Tokyo*, 284-299.
37. 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.
38. Satari, M., Samadzadegan, F., Azizi, A., Maas, H. G. (2012). *A multi-resolution hybrid approach for building model reconstruction from LIDAR data. The Photogrammetric Record*, 27(139), 330-359.
39. Shan, J., Sampath, A. (2005). *Urban DEM generation from raw LIDAR data: a labeling algorithm and its performance. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(2), 217-226.
40. Taylor, G. et al. (2007). *Modelling and prediction of GPS availability with digital photogrammetry and LiDAR. International Journal of Geographical Information Science*, 21(1), 1-20.
41. Tomlinson, R. F. (1987). *Current and potential uses of geographical information systems: the North American experience. International Journal of Geographical Information Systems*, 1(3), 203-218.
42. Tomlinson, R. (2001). *Thinking about GIS. Redlands: ESRI Press*, 254.
43. Unger, J. (2009). *Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. International Journal of Environmental Pollution*, 36, 59.
44. Vosselman, G., Dijkman, S. (2001). *3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. IAPRS*, 34, 37-43.
45. Walloth, C., Gebetsroither-Geringer, E., Atun, A. (2016). *Understanding Complex Urban Systems: Integrating Multidisciplinary Data in Urban Models. London / New York: Springer*, 148.
46. Wellar, B. S. (1975). *Urban data management systems. In Canada: A federal perspective. Papers from the 12th Annual URISA Conference, Urban and Regional Information Systems: Resources and Results*, 377-391.
47. Zarea, A. A., Mohammadzadeh A. (2016). *A Novel Building and Tree Detection Method From LiDAR Data and Aerial Images. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5), 1864-1875.
48. 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.
49. Kostrikov, S. (2014). *Geoinformatsijne modelyuvannya prurudno-antropogennogo dovkillya [Geoinformation modeling of the natural & human environment]. Kharkiv: Karazin University Press*, 484.
50. Kostrikov, S., Kulakov, D., Sehida, K. (2014). *Programne zabezpechennya GIS dlya LiDAR-technologii dustantsijnogo zonduvannya v tsilyah analizu urbogeosystem [GIS-software for the urban geosystem analysis with LiDAR-technique]. Proceedings of GIS Forum*, 19, 45-52.
51. Kostrikov, S., Chuev, O. (2016). *Analiz dvorivnevuh urbogeosystem cherez zasobu GIS [Analysis of the two-level urbogeosystems by GIS-tools]. Bulletin in Geology, Geography, and Ecology*, 44, 98-109.

УДК 911.3

Олександр Дмитрович Лаврик,

к. геогр. н., доцент, кафедра географії та методики її навчання,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
вул. Садова, 2, корп. №1, м. Умань, Черкаська обл., 20300, Україна,
e-mail: slavrik1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2604-2500>;

Андрій Олексійович Максютюв,

к. пед. н., доцент, кафедра географії та методики її навчання,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
e-mail: andriy.maksyutov@udpu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5486-634X>;

Валентина Василівна Цимбалюк,

к. хім. н., доцент, циклова комісія природничих дисциплін та математики,
КВНЗ «Уманський гуманітарно-педагогічний коледж ім. Т. Г. Шевченка»
вул. Небесної сотні, 33, м. Умань, Черкаська обл., 20300, Україна,
e-mail: wwala1975@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2509-6956>

АСИМЕТРИЯ І СИМЕТРИЯ ДОЛИННО-РІЧКОВИХ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

На основі узагальненого просторово-часового аналізу розглянуто прояв ландшафтної асиметрії та симетрії у межах долинно-річкових ландшафтно-технічних систем Правобережної України. Грунтуючись на принципах П. Кюрі та ідеях Ф. М. Мількова, проаналізовано значення асиметрії та симетрії при вивченні долинно-річкових ландшафтів, які були трансформовані внаслідок довготривалого господарського освоєння. Зазначено, що при дослідженні ландшафтно-технічних систем у них варто виокремлювати елементи симетрії та асиметрії – допоміжні геометричні образи (точки, лінії, площини), відносно яких певним чином повторюються рівні частини географічних об'єктів. У складних ландшафтно-технічних системах основні інженерно-технічні споруди часто відіграють роль таких геометричних образів. Зазначено, що провідну роль у формуванні асиметрії долинно-річкових ландшафтів відіграє антропогенний чинник. Під його впливом натуральна ландшафтна асиметрія здатна докорінно змінюватися. Відповідно до стадій розвитку ландшафтно-технічних систем проаналізовано можливі варіанти трансформації ландшафтної асиметрії та симетрії з натуральної в антропогенну. На прикладі долинно-річкових ландшафтно-технічних систем Правобережної України (водосховищ, ставків, каналів і мостів) розглянуто прояви антропогенної ландшафтної асиметрії та симетрії. Зроблено висновок про те, що порушення геометричних образів долинно-річкових ландшафтно-технічних систем відбувається внаслідок неефективної діяльності блоку управління. Врахування індивідуальних властивостей асиметрії та симетрії долинно-річкових ландшафтно-технічних систем необхідне для вирішення багатьох завдань, пов'язаних з раціональним природокористуванням та оптимізацією таких систем.

Ключові слова: ландшафтна асиметрія, ландшафтна симетрія, долинно-річкові ландшафти, ландшафтно-технічні системи, річкові долини.

А. Д. Лаврик, А. А. Максютюв, В. В. Цимбалюк. АСИМЕТРИЯ И СИМЕТРИЯ ДОЛИННО-РЕЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. На основе обобщенного пространственно-временного анализа рассмотрено проявление ландшафтной асимметрии и симметрии в пределах долинно-речных ландшафтно-технических систем Правобережной Украины. Основываясь на принципах П. Кюри и идеях Ф. М. Милькова, проанализировано значение асимметрии и симметрии при изучении долинно-речных ландшафтов, которые были трансформированы в результате длительного хозяйственного освоения. Отмечено, что при исследовании ландшафтно-технических систем в них стоит выделять элементы симметрии и асимметрии – вспомогательные геометрические образы (точки, линии, плоскости), в отношении которых определенным образом повторяются равные части географических объектов. В сложных ландшафтно-технических системах роль в формировании асимметрии долинно-речных ландшафтов играет антропогенный фактор. Под его влиянием натуральная ландшафтная асимметрия способна коренным образом меняться. Соответственно к стадиям развития ландшафтно-технических систем проанализированы возможные варианты трансформации ландшафтной асимметрии и симметрии из натуральной в антропогенную. На примере долинно-речных ландшафтно-технических систем Правобережной Украины (водохранилищ, прудов, каналов и мостов) рассмотрено проявления антропогенной ландшафтной асимметрии и симметрии. Сделан вывод о том, что нарушение геометрических образов долинно-речных ландшафтно-технических систем происходит вследствие неэффективной деятельности блока управления. Учет индивидуальных свойств асимметрии и симметрии долинно-речных ландшафтно-технических систем необходим для решения многих задач, связанных с рациональным природопользованием и оптимизацией таких систем.

Ключевые слова: ландшафтная асимметрия, ландшафтная симметрия, долинно-речные ландшафты, ландшафтно-технические системы, речные долины.

Постановка проблеми. Незважаючи на значний накопичений досвід з дослідження асиметрії і симетрії у природі [3; 8; 14; 19; 28; 34; 36], для географів ця проблема залишається актуальною й на початку XXI століття. Розвиваючи вчення про біосферу і ноосферу, В.І. Вернадський зазначав, що: «...симетрія є вираженням геометричних

просторових правильностей, які емпірично спостерігаються у природних тілах (і явищах). Отже, вона проявляється, очевидно, не лише у просторі, а й на площині і на лінії. Ці правильності більш глибокі, ніж фізичні та хімічні явища, у яких вони нам проявляються і які вони охоплюють. Закони симетрії – це геометричні закони

природних тіл, тобто фізико-хімічних просторів нашої планети...» [3, с.163]. Не менш важливе значення закони симетрії відіграють у ландшафтній сфері [17], яка була суттєво трансформована унаслідок прогресуючого техногенезу.

Особливо яскраво вплив асиметрії проявляється у структурі, динаміці та розвитку долинно-річкових ландшафтів. Упродовж тисячоліть вони зазнавали значного антропогенного навантаження. Наявність сприятливих природних умов і ресурсів зумовлювала посилення концентрації у їх межах різноманітних інженерно-технічних споруд (водосховищ, ставків, каналів, мостів), які з часом переформовувалися у долинно-річкові ландшафтно-технічні системи (ДЛТЧС). Унаслідок зміни стадій функціонування таких систем у річкових долинах проявилася нетипова для них симетричність, поряд з якою асиметричність здатна посилюватися або послаблюватися. Зважаючи на це, перед сучасними ландшафтознавцями постала низка запитань: у результаті чого відбувається трансформація ландшафтно-асиметрії та симетрії? До яких наслідків це призводить? Які ДЛТЧС здатні більш стійко зберігати симетрію? До цього часу ці питання потребують відповідей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Поняття про симетрію (гармонію в природі) були закладені ще в епоху античності. Праці давньогрецьких натурфілософів Анаксимандра (VII–VI ст. до н.е.), Платона (V–IV ст. до н.е.), Аристотеля (IV ст. до н.е.) стали першоосновою для подальшого формулювання принципів і законів у природничо-математичних науках. На той час симетрія розглядалася як якісна характеристика об'єктів, яка виявляє певну співмірність і впорядкованість їх частин, ритміку, дзеркальне повторення або подібність цих частин. Порушення симетрії (або асиметрія) не пов'язувалося з загальними закономірностями їх існування, функціонування та розвитку, а трактувалося як випадкова властивість об'єктів [7].

У 1894 р. французький фізик П. Кюрі опублікував статтю «Про симетрію у фізичних явищах» [34], положення якої докорінно змінили попередні уявлення про симетрію та асиметрію. У сучасну науку вони увійшли під назвою «принципів Кюрі», які коротко трактуються так:

1) принцип універсальності симетрії. Симетрія – не відокремлена властивість окремих тіл або фігур, а інтегральне відображення оточуючого простору, який займають зазначені тіла. Тобто симетрія є властивою усім без виключення фізичним тілам і явищам, виражається у них по різному, однак завжди є наявною [31]. Це означає, що незважаючи на стадію розвитку, будь-яка ландшафтно-технічна система буде симетричною більшою або меншою мірою;

2) принцип вимушеності симетрії. Усі порушення певного об'єкта є наслідком взаємодії його власної симетрії з симетрією оточуючого середовища, котра породжує у зазначеному об'єкті вимушену симетрію. Саме вона і є порушенням симетрії, тобто асиметрією [31]. Вивчаючи асиметрію ландшафтно-технічних систем, можна виявити причини їх формування;

3) принцип динамічності симетрії. Порушення симетрії в об'єкті є способом його виживання у середовищі, яке постійно змінюється [31]. Тобто аналізуючи динаміку змін окремої ландшафтно-технічної системи упродовж певного проміжку часу, дослідник зрозуміє закономірності її структури, функціонування та розвитку.

У фізичній географії одним з перших на поняття симетрії звернув увагу В.В. Докучаєв (1899 р.), який аналізуючи вертикальні і горизонтальні ґрунтові зони Кавказу, описує зональну симетрію, що є характерною для поверхні планети [14]. У 40-вих роках ХХ ст. підсумовуючи результати своєї багаторічної роботи, В.І. Вернадський узагальнив симетричність природи загалом і симетричність живої та косної речовини зокрема [3, с.163]. З кінця ХІХ ст. до цього часу проблема асиметричності рельєфу річкових долин активно розробляється у працях геологів і геоморфологів [4; 8–10; 25; 30; 32; 33; 35; 36; 38; 40; 41].

У другій половині ХХ ст. роботи Ф.М. Мількова [19; 20] дали початок дослідженням асиметрії та симетрії ландшафтів. Зокрема у [20] було встановлено, що меридіонально зорієнтована Середньоруська височина зумовлює процес зміщення ландшафтних зон, які просуваються у південному напрямі на більш зволоженому навітряному схилі і відступають в північному – на підвітряному східному. Це призводить до ландшафтно-асиметрії її західного та східного схилів. Зазначене явище є правилом для більшості височин. Важливою основою для подальших досліджень стала класифікація, розроблена воронезьким географом. Зокрема, він виділяє два класи: повної та неповної асиметрії ландшафтних комплексів. Клас повної, морфологічної, асиметрії характерний комплексам з асиметричним рельєфом, а клас неповної – комплексам, що мають симетричний або «нейтральний» рельєф [19]. У залежності від чинників, які визначають конкретний тип ландшафтно-асиметрії, Ф.М. Мільков виокремив їх 10 генетичних типів. Серед них: геострофічна, тектоногенна, структурно-географічна, топогенна, інсоляційна, циркуляційна, гідродинамічна, еоловогенна, гляціогенна та зсувна ландшафтна асиметрії [19].

Серед фізико-географічних досліджень кінця ХХ – початку ХХІ століть проблеми асиметрії та симетрії ландшафтів були розглянуті у працях

В.О. Бокова [1; 10], Е.М. Галєєвої [5–7], Р.В. Горбунова [11], М.В. Дутчака [15], М.В. Єлісеєвої [16], В. Б. Міхно [21], Г. В. Мудрак [22], В.М. Солнцева [26], В.Б. Сочави [27], В.І. Федотова [29], І.Г. Черваньова [10] тощо. В основному їх роботи присвячені проявам натуральної ландшафтної асиметрії та симетрії в окремих регіонах планети.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На практиці застосування принципів симетрії та асиметрії отримало широке впровадження у ландшафтному дизайні й архітектурі при проектуванні і будівництві садово-паркових ландшафтів [23; 37; 39]. У сучасному українському ландшафтознавстві ця проблематика лише починає розглядатися як на теоретичному, так і практичному рівнях. М. Д. Гродзинський та О. В. Савицька [12] торкаються проблеми симетрії при вивченні естетики ландшафту. Говорячи про синергетику ландшафтів, В. М. Петлін [24] засвідчує існування асиметрії на рівні фацій. Окремі публікації Г.І. Денисика [13] і Г.В. Мудрак [13; 22] присвячені вивченню ландшафтної асиметрії долини Дністра, однак детальних досліджень, де було б проаналізовано асиметричність та симетричність долинно-річкових ландшафтно-технічних систем, ще немає.

Формулювання мети статті. На основі загального просторово-часового аналізу розглянути прояв ландшафтної асиметрії та симетрії у межах долинно-річкових ландшафтно-технічних систем, які приурочені до рівнинної частини Правобережної України.

Виклад основного матеріалу дослідження. При дослідженні ландшафтно-технічних систем варто виокремлювати у них елементи симетрії та асиметрії – допоміжні геометричні образи (точки, лінії, площини), відносно яких певним чином повторюються рівні частини географічних об'єктів. В.А. Боков вважав, що елементи симетрії у ландшафті займають специфічне положення по відношенню до потоків речовини та енергії, при цьому центрам симетрії відповідають точки сходження і розходження цих потоків, а осям симетрії – лінії сходження і розходження потоків (наприклад, тальвеги у днищах ярів, балок та річкових долин або гребні хребтів і вододілів [1]). У свою чергу площинам симетрії часто відповідають лінійні утворення типу розломів, тріщин, обривів, уступів тощо [26]. У складних ландшафтно-технічних системах основні інженерно-технічні споруди (греблі, мости, фонтани) часто відіграють роль геометричних образів у ландшафтній симетрії.

Найбільш універсальними видами ландша-

фтної симетрії є конусоподібна та білатеральна [30]. Перша характерна для ЛТЧС, які сформувалися внаслідок субвертикальних (радіальних) потоків речовини – хмарочоси, терикони, шахти. Білатеральна (двостороння) симетрія притаманна долинно-річковим ландшафтно-технічним системам (водосховищам, ставкам, каналам), які утворилися за рахунок субгоризонтальних потоків речовини, енергії та інформації. Більшість ЛТЧС, які мають тривалу історію розвитку, формуються за рахунок взаємодії конусоподібної та білатеральної симетрії [7]. Як правило, таке явище відбувається на стадії «руйнування», коли в системі зникає блок управління.

Для басейнів і долин річок Правобережної України характерна асиметрична будова. Це виражено у долинно-річкових ландшафтах Дніпра, Дністра, Південного Бугу та їх приток, які мають приблизно меридіональне спрямування. Унаслідок різної вираженості асиметрії ландшафтна структура крутого та високого правобережного типу місцевостей суттєво відрізняється від низького лівобережного надзаплавно-терасового типу місцевостей. Тривалий час науковці вважали, що першопричиною асиметричності річкових долин є сила Коріоліса, у результаті чого течії річок відхиляються у північній півкулі вправо (правило Бера-Бабіне) [8]. Однак є багато виключень з цього правила, тому пояснення асиметричності має враховувати цілий комплекс конкретних місцевих умов (геологічний фундамент, давні і новітні тектонічні рухи, різна інсоляція схилів долини тощо).

Найбільш яскраво прояв натуральної¹ ландшафтної асиметрії проявляється у долині Дністра. Це явище зумовлене загальним нахилом поверхні Подільського плато на південь, постійним зміщенням у цьому напрямі річища, підмиванням і руйнуванням ландшафтів правого берега [15]. Специфіка ландшафтної асиметричності дністерської долини також пов'язана з будовою меандрових «вузлів». На зовнішній стороні меандри в крутий схил долини врізані вузькі, похилі та видозмінені вторинними процесами внутрішньоканьйонні тераси меандр, де простежується не весь набір терас, а виражені вони фрагментарно, у вигляді вузьких смуг. На внутрішній стороні – розвинуті широкі, з поступовим підйомом, слабко розчленовані терасові поверхні – комплекси терас, ширина яких зростає, а уступи згладжуються. Наявність структурних меандр та меандрових «вузлів» є причиною асиметрії прямих ділянок долини, випуклих і ввігнутих дуг меандр, які

¹ На думку авторів, природні ландшафти об'єднують у собі натуральні ландшафти (як первинні) і антропогенні ландшафти (як вторинні). За аналогічним

принципом диференціюється природна ландшафтна асиметрія та симетрія.

формує перехідна (змінна) асиметрія [9; 13; 22].

На сучасному етапі розвитку ландшафтної сфери провідну роль у формуванні асиметрії долинно-річкових ландшафтів відіграє антропогенний чинник. Під його впливом натуральна ландшафтна асиметрія здатна докорінно змінюватися. Варіантів таких трансформацій може бути багато (табл. 1). На різних стадіях розвитку ЛТЧС ступінь змінності залежатиме від первинної (натуральної) структури ландшафту, активності блоку управління та довговічності техногенного покриття. У зв'язку з проявом перерахованих чинників геометричні образи в ЛТЧС можуть порушуватися, що й призводить до переходу ландшафтної асиметрії в симетрію та навпаки.

Зважаючи на те, що для річкових долин ландшафтна асиметрія виступає закономірним явищем, то для долинно-річкових ландшафтно-технічних систем є характерними I–V варіанти трансформації. Прояв інших варіацій можливий, але зустрічається у межах річкових долин дуже рідко. Натуральна ландшафтна симетрія – це частковий випадок відхилення від норми. Тому дослідження VI–X варіантів доречно здійснювати на прикладі ЛТЧС, палеоландшафтною основою яких є острівні гори, озера, атоли тощо.

Таблиця 1

Можливі варіанти трансформації ландшафтної асиметрії та симетрії *

| № варіанта розвитку ландшафтної асиметрії та симетрії | Стадії розвитку ЛТЧС | | | | |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------------------------|
| | Функціонування натуральної геокомпонентної системи | «Зародження» | Функціонування | «Руйнування» | Функціонування антропогенної геокомпонентної системи |
| I | НЛА | АЛА | АЛА | АЛА | АЛА |
| II | НЛА | АЛС | АЛС | АЛС | АЛС |
| III | НЛА | АЛС | АЛС | АЛС | АЛА |
| IV | НЛА | АЛС | АЛС | АЛА | АЛА |
| V | НЛА | АЛС | АЛА | АЛА | АЛА |
| VI | НЛС | АЛА | АЛА | АЛА | АЛА |
| VII | НЛС | АЛС | АЛС | АЛС | АЛС |
| VIII | НЛС | АЛС | АЛС | АЛС | АЛА |
| IX | НЛС | АЛС | АЛС | АЛА | АЛА |
| X | НЛС | АЛС | АЛА | АЛА | АЛА |

*НЛА – натуральна ландшафтна асиметрія, НЛС – натуральна ландшафтна симетрія, АЛА – антропогенна ландшафтна асиметрія, АЛС – антропогенна ландшафтна симетрія

На основі власних польових досліджень та просторово-часового аналізу господарського освоєння річкових долин Правобережної України [18] було розроблено модель розвитку типової ставкової ДЛТЧС у басейні Південного Бугу (рис. 1.А–1.В), на якій можна спостерігати процес ускладнення ландшафтної асиметрії у різних відношеннях. Найбільш типовим варіантом такої трансформації є перший (табл. 1), при якому натуральна ландшафтна асиметрія перетворюється на антропогенну і проявляється упродовж усіх стадій розвитку ЛТЧС. Запропоноване моделювання відображає аналогічні процеси у водосховищах, які параметрично більші від ставків.

Перекриття днища долини тілом греблі зумовлює виникнення нової площини симетрії, яка під певним кутом розташовується до повздовжньої осі симетрії – тальвегу. У повздовжньому відношенні (за напрямом течії) формується нова контрастна структура річкової долини – верхній б'єф, заповнений водою, та нижній б'єф з трансформованим річищем і осушеною заплавою. При цьому

відбувається суттєве порушення повздовжніх парагенетичних зв'язків у річкових долинах, яке проявляється у гальмуванні природного руху потоків маси, енергії та інформації від верхньої до нижньої течії і навпаки. Відстань між греблями суміжних водойм на малих та середніх річках змінюється від 2 до 5 км, на великих – понад 20 км. У таких «проміжках» (на межі контрастних середовищ «вода – суша») завдяки акумуляції зруйнованого матеріалу виникають нові урочища заболочених верхів'їв ставків (рис. 1.Б). Зараз такі каскади ставків і водосховищ, які перебувають на різних стадіях розвитку ЛТЧС, розташовуються від витoku до гирла кожної річки і формують сучасну ландшафтну структуру долин Правобережної України.

У поперечному відношенні формування антропогенної ландшафтної асиметрії річкової долини відбувається паралельно до новоутвореної площини (греблі) – від бровки правого до бровки лівого схилу. Ландшафтні профілі (рис. 1.А–1.В) відображають зміни структури ДЛТЧС на усіх гі-

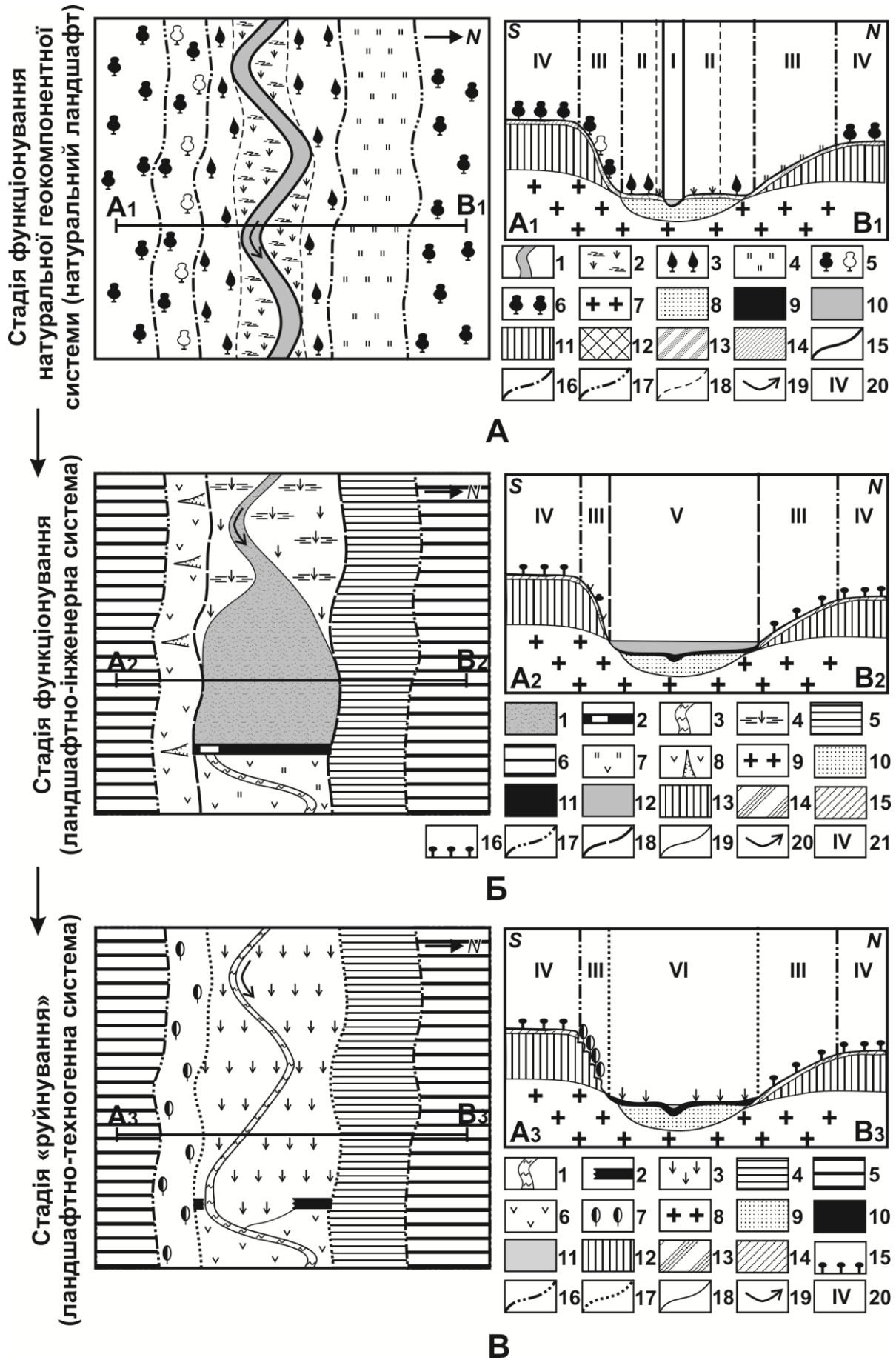


Рис. 1. Зміна ландшафтної асиметрії на різних стадіях розвитку типової ставкової ДЛТчС у басейні Південного Бугу

Умовні позначення до рис. 1:

А) Натуральна ландшафтна асиметрія у долинно-річковому ландшафті

Натуральні ландшафти. Руслові. Урочища: 1 – річище глибиною 0,5–1 м та швидкістю течії води 0,5–1 м/с, заростає очеретяно-осоковими асоціаціями. **Заплавні.** Урочища: 2 – мікрогорбкуваті поверхні з очеретяно-осоковими асоціаціями на лучно-болотних ґрунтах; 3 – мікрогорбкуваті поверхні з вільховими заростями на лучно-болотних ґрунтах. **Схилові.** Урочища: 4 – слабкопокаті (3–5°) лесові схили з різнотравно-злаковою рослинністю на сірих лісових ґрунтах; 5 – круті (20–30°) лесові схили, заліснені дубом, кленом, глодом, тереном і шипшиною на сірих лісових ґрунтах. **Плакорні.** Урочища: 6 – слабкохвилясті лесові поверхні з дубово-кленовими лісами на ясно-сірих лісових ґрунтах.

Ландшафтний профіль: 7 – докембрійські породи (граніти та гнейси); 8 – алювіальні піски заплави; 9 – відклади намалу; 10 – вода; 11 – леси; 12 – лучно-болотні ґрунти; 13 – сірі лісові ґрунти; 14 – ясно-сірі лісові ґрунти.

Межі. Типів місцевостей. Натуральних (I – русловий, II – заплавний, III – схиловий, IV – плакорний): 15 – руслового; 16 – заплавного і схилового; 17 – схилового і плакорного. **Урочищ:** 18 – натуральних.

Інші позначення: 19 – напрям течії; 20 – індекс типу місцевостей.

Б) Антропогенна ландшафтна асиметрія у долинно-річковій ландшафтно-інженерній системі

Антропогенні ландшафти. Водогосподарські. Ставково-заплавні. Урочища: 1 – ставок глибиною 1–1,5 м та швидкістю течії води 0,5 м/с, заростає очеретяно-осоковими асоціаціями на відкладах намалу; 2 – гранітно-ґрунтова гребля висотою 3 м і шириною 5 м, заростає лучно-злаковою рослинністю; 3 – змінене річище глибиною 0,5–1 м та швидкістю течії води 0,5 м/с, заростає очеретяно-осоковими асоціаціями; 4 – мікрогорбкуваті поверхні з очеретяно-осоковими асоціаціями на заболочених ґрунтах. **Сільськогосподарські. Польові. Схилові.** Урочища: 5 – слабкопокаті (3–5°) лесові схили під польовими сівозмінами на еродованих сірих лісових ґрунтах. **Плакорні.** Урочища: 6 – вирівняні лесові поверхні під польовими сівозмінами на еродованих ясно-сірих лісових ґрунтах. **Лучно-пасовищні. Ставково-заплавні.** Урочища: 7 – мікрогорбкуваті поверхні з лучно-злаковою рослинністю осушених лучно-болотних ґрунтах під випас і сінокоси. **Схилові.** Урочища: 8 – круті (20–30°) лесові схили, розчленовані ярами, з лучно-злаковою рослинністю та кущами на еродованих сірих лісових ґрунтах під випас.

Ландшафтний профіль: 9 – докембрійські породи (граніти та гнейси); 10 – алювіальні піски заплави; 11 – відклади намалу; 12 – вода; 13 – леси; 14 – еродовані сірі лісові ґрунти; 15 – еродовані ясно-сірі лісові ґрунти; 16 – сільськогосподарські культури.

Межі. Типів місцевостей. Натуральних (III – схиловий, IV – плакорний): 17 – схилового і плакорного. **Антропогенних** (V – ставково-заплавний): 18 – ставково-заплавного. **Урочищ:** 19 – антропогенних.

Інші позначення: 20 – напрям течії; 21 – індекс типу місцевостей.

В) Антропогенна ландшафтна асиметрія у долинно-річковій ландшафтно-техногенній системі

Антропогенні ландшафти. Водогосподарські. Останцево-ставково-заплавні. Урочища: 1 – замулене річище глибиною 0,2–0,5 м, заростає очеретяно-осоковими асоціаціями; 2 – зруйнована гранітно-ґрунтова гребля висотою 3 м і шириною 5 м, заростає кущовою і лучно-злаковою рослинністю; 3 – рівні поверхні з очеретяно-осоковими асоціаціями на мулистих відкладах колишнього ставка. **Сільськогосподарські. Польові. Схилові.** Урочища: 4 – слабкопокаті (3–5°) лесові схили під польовими сівозмінами на еродованих сірих лісових ґрунтах. **Плакорні.** Урочища: 5 – вирівняні лесові поверхні під польовими сівозмінами на еродованих сірих лісових ґрунтах. **Лучно-пасовищні. Останцево-ставково-заплавні.** Урочища: 6 – вирівняні поверхні з мезоксерофітною лучно-злаковою рослинністю на осушених лучно-болотних ґрунтах під випас. **Садові. Схилові.** Урочища: 7 – терасовані лесові схили з насипними ґрунтами під плодовими насадженнями.

Ландшафтний профіль: 8 – докембрійські породи (граніти та гнейси); 9 – алювіальні піски заплави; 10 – відклади намалу; 11 – вода; 12 – леси; 13 – еродовані сірі лісові ґрунти; 14 – еродовані ясно-сірі лісові ґрунти; 15 – сільськогосподарські культури.

Межі. Типів місцевостей. Натуральних (III – схиловий, IV – плакорний): 16 – схилового і плакорного. **Антропогенних** (VI – останцево-ставково-заплавний): 17 – останцево-ставково-заплавного. **Урочищ:** 18 – антропогенних.

Інші позначення: 19 – напрям течії; 20 – індекс типу місцевостей.

псометричних рівнях. Після затоплення днища долини водами ставка (водосховища) знищуються типові урочища вологих лук, вільшняків і вербняків. При цьому знівельовується перепад висот високого правого та низького берегів заплави. У перші роки функціонування водойми здійснюється підмивання правого крутого берега та активізації гравітаційних процесів (зсувів, осипів та обвалів). Особливо яскраво це проявлялося на водосховищах Дніпра, Дністра та Південного Бугу, де під дією абразії лесові та піщані борти долин активно відступали у бік плакорів (з швидкістю 1–4 м на рік), у той час як руйнування похилих схилів відбувалося набагато повільніше. Поступово, у прибережних частинах водойм на зруйнованому матеріалі правого та лівого схилів починають формуватися осоково-рогозові асоціації.

Унаслідок посиленої господарської діяльності змінюється рослинний покрив на обох схилах. На правому крутому схилі, який менш пристосований для створення полів, здійснюється вирубка лісів. Як правило, його використовують для випасу худоби. На його поверхні формуються нові антропогенні урочища сухих лук. Кліматичні особливості території, розробка суміжних плакорів під поля і значна крутизна схилів посилюють ерозійні процеси. Часто це призводить до формування ярів на схилах і винесення значної кількості делювію до днища долини. З метою термінового гальмування ерозії широко використовувалося терасування схилів з крутизною від 10 до 40° або на більш похилих з сильно змитими ґрунтами. На східчатоподобних терасах здійснювали насадження плодкових культур (яблуні, груші, абрикоси) або дерев з потужною кореневою системою (робінії псевдоакації, дуба звичайного, ліщини ведмежої). Лівий пологий схил (або комплекс надзаплавних терас) з натуральними урочищами лук розробляється під селитебну забудову, поля та городи. Його поверхня характеризується менш вираженим перенесенням зруйнованого матеріалу у порівнянні з крутим схилом. Однак через зручність для проведення будівельних робіт на пологих схилах формується більше площ з техногенним покривом.

Важливу роль у ландшафтній асиметрії річкових долин відіграє інсоляція. У залежності від експозиції схили отримують різну кількість сонячної радіації. Так, схили з південною експозицією отримують в 2–3 рази більше тепла, ніж протилежні. При збільшенні крутизни до 30° така різниця досягає майже 200%. Характер і строки сніготанення, форма та інтенсивність поверхневого стоку на протилежних схилах будуть різними, що може призвести до зміни їх форми [2]. Трансформація рельєфу та рослинного покриву річкової долини впливають на характер підстильної поверх-

ні, а отже є причиною зміни здатності відбивати сонячну радіацію. Заміна вирубаних лісів на луки (крутий схил), а заміщення лук на поля з сівозмінами (пологий схил) підвищують альbedo на $\approx 5\%$. У межах ставкової ДЛТЧС формується своєрідний мікроклімат з відповідним вітровим режимом, вологообміном і температурою.

Така схема свідчить про те, що менший за масштабом асиметричний об'єкт (ставок) здатен функціонувати у межах більшого асиметричного об'єкту (річкової долини) і під дією антропогенного чинника (блоку управління) визначати подальше існування складної парадинамічної системи «лівий схил – днище долини – правий схил». Відсутність догляду з боку людини за станом техногенного покриву призводить до руйнування основної інженерно-технічної споруди (рис. 1.В) і нового переформатування геометричних образів у системі.

На думку В.І. Федотова: «Для географічних (фізико-географічних) систем і ландшафтів симетрія явище рідкісне. Внаслідок різних причин, планетарних або вузьколокальних, географічні природні об'єкти відображають на собі відхилення від симетрії, що дозволяє стверджувати існування протилежної закономірності – асиметрії ... Симетрія властива об'єктам і предметам, які досягли стабільності, консервації. Таким чином, асиметрія первинна у розвитку природи, симетрія вторинна» [29, с. 7]. Це не заперечує того факту, що симетричний (вторинний або створений людиною) географічний об'єкт здатен функціонувати у межах асиметричного (первинного – натурального). Як правило, за задумом проектної групи більшість інженерно-технічних систем мають правильні геометричні фігури, які підлаштовують під конкретні природні умови. Така симетрія може залишатися стабільною лише за умови постійної присутності блоку управління. Досвід пізнання ЛТЧС доводить, що через його неефективну діяльність антропогенна ландшафтна симетрія поступово знищуватиметься (III–V варіанти) від впливом зональних чинників.

У заплавах річок Правобережної України часто будують примітивні ДЛТЧС для вирощування риби – «копанки» або «сажавки». Їм надають правильної чотирикутної форми, укріплюють береги та обсаджують деревами і кущами. «Копанки» є об'ємними, їх фігури – це куб, прямокутний паралелепіпед або правильна зрізана піраміда. Антропогенна ландшафтна симетрія тут присутня лише на стадіях «зародження» та функціонування. Під час фази безконтрольності береги обсіпаються і «копанки» стають асиметричними. Вони десятками років здатні ще існувати, маючи спотворену форму, поки не замуляться або пересохнуть.

У ставкових ДЛТчС ландшафтна симетрія проявляється при будівництві «островів кохання». Це насипні споруди з відкладів алювію, які згортаються до центру ставка під час його розчищення і поглиблення. Такі острови мають овальну або круглу форму. В об'ємному відношенні – це півкуля або напівеліпсоїд. Острів розташовують приблизно рівновіддалено до двох сторін: правого та лівого берегів. Лише по відношенню до поздовжньої осі, яка з'єднує верхів'я ставка та греблі, положення острова асиметричне. Постійне накопичення алювіального матеріалу, яке надходить з верхів'я ставка, призводить до трансформації форми острова. За відсутності належного блоку управління антропогенна ландшафтна симетрія зникає вже на стадії функціонування ЛТчС (V варіант).

Більш стійко антропогенна ландшафтна симетрія проявляється у мостових ДЛТчС (III варіант). Такими типовими системами є мости арко-

вого типу, де несучими спорудами виступають арки або склепіння. Так, у річищі Дніпра аркові мости знаходяться в межах Києва, Дніпра й Запоріжжя; у річищі Південного Бугу (Хмільник, Вінниця та Мигія), у річищі Інгулу (Кропивницький), у річищі Смотрича (Кам'янець-Подільський) тощо. Тут несучі споруди формують кристалографічну симетрію, в якій елементи композиції повторюються через певні проміжки. По відношенню до умовної вертикальної осі В1В2 арки розташовують дзеркально з метою рівномірного розподілу навантаження на опори мосту (рис. 2). В умовах зарегульованості стоку та відсутності льодоходів на річках Правобережної України такі мости здатні функціонувати тривалий час (понад 100 років). Знищення антропогенної ландшафтної симетрії у мостових ДЛТчС відбувається при неврахованні проектною групою природних умов і виникненні надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

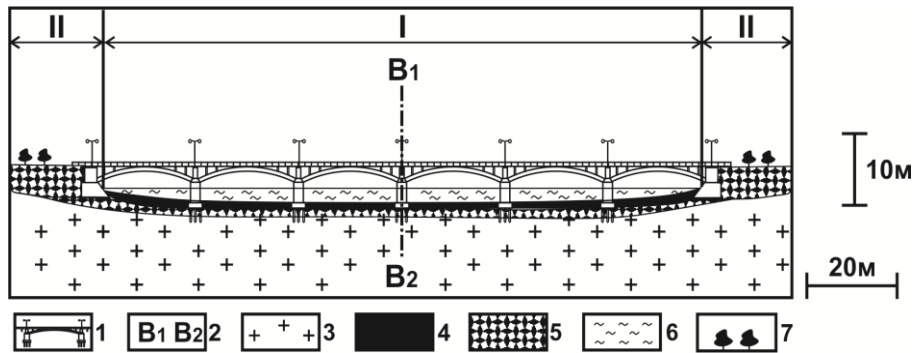


Рис. 2. Сучасна (2018 р.) антропогенна ландшафтна симетрія у мостовій ДЛТчС (річище Південного Бугу в м. Вінниця):

1 – мостова ДЛТчС; 2 – позначення вертикальної осі симетрії; 3 – докембрійські кристалічні породи (граніти та гнейси); 4 – русловий алювій; 5 – насипні ґрунти та ґрунтосуміші; 6 – водні маси; 7 – рослинний покрив. Натуральні типи місцевостей: I – русловий; II – заплавної

Виключенням з описаних закономірностей є прояв антропогенної ландшафтної симетрії у долинно-річкових ландшафтно-технічних системах меліоративних каналів. Проведення осушувальних робіт у зоні мішаних лісів (в заплавах приток Дніпра та Південного Бугу) призвело до формування нетипової симетрії (II варіант), яка зберігається навіть після закінчення стадії «руйнування» ЛТчС. Її виникнення відбувалося за такою схемою. Відповідно до загального напрямку течії звивисті річища випрямляли. Притоки головної річки спрямовували паралельно до антропогенізованого річища. Через заболочені заплави проклали канали на однаковій відстані один від одного. Так осушувана територія «розбивалася» на однакові ділянки правильної ромбоподібної або прямокутної форми для рівномірного відведення ґрунтових вод. Першопочатково у поперечному перерізі площина каналу утворювала трапеціє-

подібну фігуру. За відсутності контролю вони замулювалися та заростали водно-болотною рослинністю. Відповідно трапеція трансформувалася в аморфну фігуру. При цьому на регіональному рівні антропогенна ландшафтна симетрія каналів зберігається, а на локальному – переходить у антропогенну ландшафтну асиметрію. Зараз сучасні долинно-річкові ландшафти півночі Правобережної України нагадують умовну «шахову дошку», де осьовими лініями між чотирикутниками слугують меліоративні канали.

Висновки. Таким чином, в сучасних умовах посиленого техногенезу у долинах річок Правобережної України функціонують більшість ландшафтно-технічних систем, стан яких знаходяться на межі переходу до стадії «руйнування». Порушення їх геометричних образів відбувається внаслідок неефективної діяльності блоку управління. Врахування індивідуальних властивостей асимет-

рії та симетрії ДЛТЧС необхідне для вирішення багатьох завдань, пов'язаних з раціональним природокористуванням та оптимізацією таких систем. З цією метою варто посилити увагу сучасних

географів і ландшафтознавців на дослідженні проблем впливу асиметрії та симетрії на структуру, динаміку та стійкість ландшафтно-технічних систем.

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

Література

1. Боков В. А. Учение о симметрии и физико-географические объекты / В. А. Боков // Вопросы географии. – 1977. – № 104. – С. 95–105.
2. Валиуллина Г. Ш. Асимметрия склонов речных долин на территории Закамья Республики Татарстан / Г. Ш. Валиуллина // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия : Естественные науки. – 2017. – Т. 41, № 25. – С. 3–8.
3. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения / Вернадский В. И. – [2-е изд.]. – М. : Наука, 1987. – 348 с.
4. Воскресенский С. С. Асимметрия склонов речных долин на территории Европейской части СССР / С. С. Воскресенский // Вопросы географии (гляциология и геоморфология). – 1947. – № 4. – С. 107–114.
5. Галева Э. М. Асимметрия ландшафтов Западного Башкортостана: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. геогр. наук : спец. 11.00.01 «Физ. география, геофизика и геохимия ландшафтов» / Э. М. Галева. – Уфа, 1998. 23 с.
6. Галева Э. М. Асимметрия ландшафтов: учеб. пособ. / Э. М. Галева. – Уфа : Изд-во БГПУ, 2002. – 107 с.
7. Галева Э. М. О методологическом значении принципа симметрии в ландшафтоведении / Э. М. Галева // Вестник Башкирского университета. – 2007. – Т. 12, № 4. – С. 48–50.
8. Геренчук К. И. Геоморфология Подолы / К. И. Геренчук // Ученые записки Черновицкого государственного университета. Серия: Геолого-геоморфологические науки. – 1950. – Т. VIII, Вып. 2. – С. 89–111.
9. Геренчук К. И. Об асимметрии склонов речных долин Русской равнины (к столетию закона Бера-Бабини) / К. И. Геренчук // Географічний збірник. – 1961. – Вып. 4. – С. 47–48.
10. Геренчук К. И. Общее землеведение : учебник / К. И. Геренчук, В. А. Боков, И. Г. Черванев. – М. : Высшая школы, 1984. – 255 с.
11. Горбунов Р. В. История развития представлений о диссимметрии ландшафтов / Р. В. Горбунов // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, Вып. 1. – С. 106–114.
12. Гродзинський М. Д. Естетика ландшафту : навч. посіб. / М. Д. Гродзинський, О. В. Савицька. – К. : Київський університет, 2005. – 183 с.
13. Денисик Г. І. Унікальні ландшафти Середнього Придністер'я : монографія / Г. І. Денисик, Г. В. Мудрак. – Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2014. – 262 с.
14. Докучаев В. В. Къ учению о зонахъ природы. Горизонтальныя и вертикальныя почвенныя зоны. – Санкт-Петербургъ: Типографія СПб. Градоначальства, 1899. – 207 с.
15. Дутчак М. В. Природно-територіальні комплекси Дністровської долино-річкової системи в межах Середнього Придністров'я, їх зміни під впливом гідротехнічної системи : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.01 «Фіз. географія, геофізика і геохімія ландшафтів» / М. В. Дутчак. – К., 1994. – 25 с.
16. Елисеева М. В. Ландшафтная асимметрия степного Предуралья как фактор неоднородности свойств почв / М. В. Елисеева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 6. – С. 123–126.
17. Лаврик О. Д. Ландшафтна техносфера / О. Д. Лаврик // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича. Серія: Географія. – 2018. – Вып. 795. – С. 147–154.
18. Лаврик О. Д. Просторово-часовий аналіз формування долино-річкових ландшафтно-технічних систем Правобережної України / О. Д. Лаврик // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – 2017. – Вып. 29, № 3–4. – С. 44–61.
19. Мильков Ф. Н. Асимметрия ландшафтных комплексов / Ф. Н. Мильков // Землеведение. – 1982. – Т. 14. – С. 5–16.
20. Мильков Ф. Н. К вопросу ландшафтной асимметрии Среднерусской возвышенности / Ф. Н. Мильков // Вестник Московского государственного университета. Серия : География. – 1963. – № 4. – С. 67–89.
21. Михно В. Б. Симметрия как фактор структурной организации, динамики и устойчивости ландшафтов / В. Б. Михно // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2014. – № 4. – С. 5–11.
22. Мудрак Г. В. Дослідження проявів асиметрії сучасних ландшафтів Середнього Придністер'я / Г. В. Мудрак // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – 2008. – Вып. 17. – С. 37–40.
23. Николаев В. А. Ландшафтоведение : Эстетика и дизайн : учеб. пособ. / В. А. Николаев. – М. : Аспект Пресс, 2003. – 176 с.
24. Петлін В. М. Синергетика ландшафту / Петлін В. М. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2005. – 205 с.

25. Рождественский А. П. К вопросу о природе асимметрии склонов речных долин северо-западной части Башкирии / А. П. Рождественский // Вопросы геологии и геоморфологии Башкирии. – 1957. – № 1. – С. 5–16.
26. Солнцев В. Н. Системная организация ландшафтов : монография. – М. : Мысль, 1981. – 239 с.
27. Сочава В. Б. Географическая зональность и полярная антисимметрия / В. Б. Сочава // Известия АН СССР. Серия : географическая. – 1963. – № 6. – С. 122–123.
28. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. Философские и естественно-научные аспекты / Урманцев Ю. А. – М. : Мысль, 1974. – 229 с.
29. Федотов В. И. Эффекты гор на возвышенных равнинах Среднерусской лесостепи / В. И. Федотов, С. В. Федотов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 5–13.
30. Шафрановский И. И. Симметрия в геологии / И. И. Шафрановский, Л. М. Плотников. – Л. : Недра, 1975. – 144 с.
31. Шубаев Л. П. Виды симметрии в географической оболочке / Л. П. Шубаев // Симметрия в природе: сб. науч. тр. – Л. : Наука, 1971. – С. 167–171.
32. Baioni D. Analysis of Drainage Basin Asymmetry in the Ventena River, Northern Apennines (Central Italy) / D. Baioni // International Journal of Earth & Environmental Sciences. – 2016. – Vol. 1, No. 121. – P. 1–5.
33. Borg C.-J. Mechanisms Controlling Valley Asymmetry Development at Abisko, Northern Sweden and Sani Pass, Southern Africa / C.-J. Borg. – Uppsala, 2012. – 54 p.
34. Curie P. Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique / P. Curie // Journal de Physique Théorique et Appliquée. – 1894. – № 3. – P. 393–415.
35. Dhanya V. Basin asymmetry and associated tectonics: A case study of Achankovil river basin, Kerala / V. Dhanya // Transactions of the Institute of Indian Geographers. – 2014. Vol. 36, No. 2. – P. 207–215.
36. Farbe L.-A. La dissymétrie des vallées et la loi dite de Baër, particulièrement en Gascogne / L.-A. Farbe // La Géographie. – 1903. – T. VIII, № 5. – P. 291–316.
37. Landscape Design : A Practical Approach / Edition by L. G. Hannebaum. – [5th ed.]. – Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 466 p.
38. Penk A. Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart : Verlag von J. Engelhorn, 1894. – 291 s.
39. Sauter D. Landscape Construction. – [3rd ed.]. – Boston : Cengage Learning, 2010. – 512 p.
40. Show more Multi-stream order analyses in basin asymmetry: A tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain) / J. Garrotea, G. Garzón, H. Randel, T. Cox // Geomorphology. – 2007. Vol. 102, No. 1. – P. 130–144.
41. Wende R. Drainage and valley asymmetry in the Tertiary Hills of Lower Bavaria, Germany / R. Wende // Geomorphology. – 1995. – Vol. 14, Is. 3. – P. 255–265.

UDC 911.3

Oleksandr Lavryk,

PhD (Geography), Assistant Professor, Department of geography and methods of its teaching,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
2 Sadova St., building 1, Uman, Cherkassy region, 20300, Ukraine,
e-mail: slavrik1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2604-2500>;

Andrii Maksytov,

PhD (Pedagogy), Assistant Professor, Department of geography and methods of its teaching,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
e-mail: andriy.maksytov@udpu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5486-634X>;

Valentyna Tsymbaliuk,

PhD (Chemistry), Assistant Professor, Cycle commission of natural sciences and mathematics,
Communal Higher Education Establishment,
«Uman Taras Shevchenko College of Education and Humanities»,
33 Nebesnoy Sotny St., Uman, Cherkassy region, 20300, Ukraine,
e-mail: wwala1975@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2509-6956>

ASYMMETRY AND SYMMETRY OF VALLEY-RIVER OF LANDSCAPE AND TECHNICAL SYSTEMS

The aim of the article is to consider the manifestation of landscape asymmetry and symmetry within the valley-river landscape and technical systems, which are confined to the flat part of Right-Bank Ukraine, on the basis of a generalized spatial and temporal analysis.

Methods. The study is based on the ideas of F. M. Milkov on anthropogenic landscapes and «Pierre Curie principles»: the universality of symmetry, the forced symmetry and dynamism of symmetry, which were

adapted in physical geography.

Scientific novelty. In practice, application of the principles of symmetry and asymmetry has been widely implemented in landscape design and architecture in the design and construction of gardening landscape. In modern Ukrainian landscape science, this issue is only beginning to be considered at both theoretical, and practical levels. Individual publications are devoted to this problem, but there is no detailed research where asymmetry and symmetry of valley-river landscape and technical systems would be analyzed.

Practical value is determined by the introduction into the practice of working with landscape and technical systems of universal principles of symmetry and asymmetry, which will make it possible to find effective ways of rational use of natural resources.

Research results. It was noted that in the study of landscape and technical systems in them it is worth to distinguish elements of symmetry and asymmetry – auxiliary geometric images (points, lines, planes) in respect of which equal parts of geographical objects are repeated in a certain way. In complex landscape and technical systems basic engineering structures often play the role of such geometric images.

It is noted that the leading role in the formation of the asymmetry of valley-river landscapes is played by the anthropogenic factor. Under its influence, natural landscape asymmetry can radically change. Depending on the development stages of landscape and technical systems, possible variants of landscape asymmetry and symmetry transformation from natural to anthropogenic are analyzed. On the example of valley-river landscape and technical systems of Right-Bank Ukraine (reservoirs, ponds, canals and bridges), manifestations of anthropogenic landscape asymmetry and symmetry are considered.

Based on our own field research and spatial and temporal analysis of the economic development of river valleys of Right-Bank Ukraine, a model for the development of a typical pond valley-river landscape and technical system in the Southern Bug basin was developed, where one can observe the process of landscape asymmetry complication in various respects. The most typical variant of transformation is the one in which the natural landscape asymmetry changes into anthropogenic and manifests itself at all stages of development.

It is concluded that the violation of geometric images of valley-river landscape and technical systems occurs as a result of the ineffective activity of the control unit. Consideration of individual properties of asymmetry and symmetry of valley-river landscape and technical systems is necessary for solving many problems associated with environmental management and the optimization of such systems. To this end, it is necessary to increase the attention of modern geographers and landscape scholars to study the problems of the influence of asymmetry and symmetry on the structure, dynamics and stability of landscape and technical systems.

Keywords: landscape asymmetry, landscape symmetry, valley-river landscapes, landscape and technical systems, river valleys.

References

1. Bokov, V. A. (1977). *Theory of symmetry and physic and geographical objects. Questions of Geography*, 104, 95–105 [in Russian].
2. Valiullina, G. Sh. (2017). *Asymmetry of the slopes of river valleys in the territory of the Zakamye of the Republic of Tatarstan. Scientific Statements of Belgorod State University (Natural Sciences)*, 41 (25), 3–8 [in Russian].
3. Vernadsky, V. I. (1987). *Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment. Moscow*, 348 [in Russian].
4. Voskresensky, S. S. (1947). *Asymmetry of the slopes of river valleys in the territory of the European part of the USSR. Questions of Geography (Glaciology and Geomorphology)*, 4, 107–114 [in Russian].
5. Galeeva, E. M. (1998). *Asymmetry of the Landscapes of West Bashkortostan. Extended abstract of candidate's thesis. Ufa* [in Russian].
6. Galeeva, E. M. (2002). *Asymmetry of landscapes. Ufa*, 107 [in Russian].
7. Galeeva, E. M. (2007). *On the Methodological Significance of the Symmetry Principle in Landscape Studies. Bulletin of the Bashkir University*, 12 (4), 48–50 [in Russian].
8. Gerenchuk, K. I. (1961). *On the asymmetry of the slopes of the river valleys of the Russian Plain (to the centenary of the Bera-Babin law). Geographical collection*, 4, 47–48 [in Russian].
9. Gerenchuk, K. I. (1950). *Geomorphology of Podillia. Scientific notes of Chernivtsi State University. Series: Geological and geomorphological sciences*, 8 (2), 89–111 [in Russian].
10. Gerenchuk, K. I., Bokov, V. A., Chervanov, I. G. (1984). *General geography. Moscow*, 255 [in Russian].
11. Gorbunov, R. V. (2014). *History of the development of ideas about the dissymmetry of landscapes. Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*, 10 (1), 106–114 [in Russian].
12. Grodzinsky, M. D., Savitskaya, O. V. (2005). *Landscape Aesthetics. Kyiv*, 183 [in Ukrainian].
13. Denysyk, G. I., Mudrak, G. V. (2014). *Unicual landscapes of the Middle Transnistria. Vinnytsia*, 262 [in Ukrainian].
14. Dokuchaev, V. V. (1899). *On the study of the zones of nature. Horizontal and vertical soil zones. Saint Petersburg*, 207 [in Russian].
15. Dutchak, M. V. (1994). *Natural and territorial complexes of the Dniistrovsky valley and river system within the limits*

- of Middle Transnistria, their changes under the influence of the hydrotechnical system. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv [in Ukrainian].
16. Eliseeva, M. V. (2014). Landscape asymmetry of the steppe Preduralai as a factor of inhomogeneity of soil properties. *Bulletin of the Orenburg State University*, 6, 123–126 [in Russian].
 17. Lavryk, O. D. (2018). Landscape Technosphere. *Scientific Bulletin of Yuri Fedkovich Chernivtsi National University. Series: Geography*, 795, 147–154 [in Ukrainian].
 18. Lavryk, O. D. (2017). Spatial and temporal analysis of the formation of valley-river landscape and technical systems of the Right-Bank Ukraine. *Notes of the Vinnytsa State Pedagogical University Department of Mykhaylo Kotsyubinsky. Seriya: Geography*, 29 (3–4), 44–61 [in Ukrainian].
 19. Mil'kov, F. N. (1982). Asymmetry of landscape complexes. *Earth Science*, 14, 5–16 [in Russian].
 20. Mil'kov, F. N. (1963). On the issue of landscape asymmetry of the Central Russian Upland. *Bulletin of Moscow State University. Series: Geography*, 4, 67–89 [in Russian].
 21. Mikhno, V. B. (2014). Symmetry as a factor of the structural organization, dynamics and stability of landscapes. *Vestnik Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 4, 5–11 [in Russian].
 22. Mudrak, G. V. (2008). Research of manifestations of asymmetry of modern landscapes of the Middle Transnistria. *Scientific notes of Mikhailo Kotsiubynsky Vinnytsa State Pedagogical University. Series: Geography*, 17, 37–40 [in Ukrainian].
 23. Nikolaev, V. A. (2003). *Landscape Science: Aesthetics and Design*. Moscow, 176 [in Russian].
 24. Petlin, V. M. (2005). *Synergetics of the landscape*. Lviv, 205 [in Ukrainian].
 25. Rozhdestvensky, A. P. (1957). On the nature of the asymmetry of the slopes of the river valleys of the northwestern part of Bashkiria. *Questions of Geology and Geomorphology of Bashkiria*, 1, 5–16 [in Russian].
 26. Solntsev, V. N. (1981). *Systemic organization of landscapes*. Moscow, 239 [in Russian].
 27. Sochava, V. B. (1963). Geographical zoning and polar antisymmetry. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Series: geography*, 6, 122–123 [in Russian].
 28. Urmantsev, Yu. A. (1974). Symmetry of nature and the nature of symmetry. *Philosophical and natural-scientific aspects*. Moscow, 229 [in Russian].
 29. Fedotov, V. I., Fedotov, S. V. (2013). Effects of mountains on the elevated plains of the Central Russian forest-steppe. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1, 5–13 [in Russian].
 30. Shafranovsky, I. I., Plotnikov, L. M. (1975). Symmetry in geology. *Leningrad*, 144 [in Russian].
 31. Shubaev, L. P. (1971). Types of symmetry in the geographical shell. *Symmetry in nature*. Leningrad, 167–171 [in Russian].
 32. Baioni, D. (2016). Analysis of Drainage Basin Asymmetry in the Ventena River, Northern Apennines (Central Italy). *International Journal of Earth & Environmental Sciences*, 1 (121), 1–5.
 33. Borg, C.-J. (2012). Mechanisms Controlling Valley Asymmetry Development at Abisko, Northern Sweden and Sani Pass, Southern Africa. *Uppsala*, 54.
 34. Curie, P. (1894). Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique. *Journal de Physique Théorique et Appliquée*, 3, 393–415 [in French].
 35. Dhanya, V. (2014). Basin asymmetry and associated tectonics: A case study of Achankovil river basin, Kerala. *Transactions of the Institute of Indian Geographers*, 36 (2), 207–215.
 36. Farbe, L.-A. (1903). La dissymétrie des vallées et la loi dite de Baër, particulièrement en Gascogne. *La Géographie*, 8 (5), 291–316 [in French].
 37. Hannebaum, L. G. (ed.) (2001). *Landscape Design: A Practical Approach*. Upper Saddle River, New Jersey, 466.
 38. Penk, A. (1894). *Morphologie der Erdoberfläche*. Stuttgart, 291 [in German].
 39. Sauter, D. (2010). *Landscape Construction*. Boston, 512.
 40. Garrotea J., Garzón G., Randel H., Coxb T., (2007). Show more Multi-stream order analyses in basin asymmetry: A tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain). *Geomorphology*, 102 (1), 130–144.
 41. Wende, R. (1995). Drainage and valley asymmetry in the Tertiary Hills of Lower Bavaria, Germany. *Geomorphology*, 14 (3), 255–265.

UDC 332.146:330.341.1:330.322(477.54)

Liudmyla Mykolaivna Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: soc-econom-region@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Kostyantyn Volodymyrovych Mezentsev,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the of the Department of Human Geography, Faculty of Geography,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: mez@univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>;

Kateryna Yuriivna Sehida,

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: kateryna.sehida@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Cezar Morar,

PhD (Geography), Assistant Professor, Department of Geography, Tourism and Territorial Planning,
Faculty of Geography, Tourism and Sport, University of Oradea,
1 University St., C., Hall Office 221, Oradea, 410087, Romania,
e-mail: cezarmorar@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0211-5883>;

Nataliia Volodymyrivna Husieva,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: gusewa3110@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3620-1213>;

Vilina Anatoliivna Peresadko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Dean of the Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,
V. N. Karazin Kharkiv University, Ukraine,
e-mail: geo@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

Ievgeniia Yuriivna Telebieniava,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: telebenevaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7013-8836>

INNOVATION AND INVESTMENT POTENTIAL OF REGION AS A FACTOR OF ITS "SMART TRANSFORMATION" – A CASE STUDY OF KHARKIV REGION (UKRAINE)

Л. М. Нємець, К. В. Мезенцев, К. Ю. Сєзїда, Ч. Морар, Н. В. Гусєва, В. А. Пересадько, Є. Ю. Телебєнєва. ІННОВАЦІЙНО-ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РЕГІОНУ ЯК ФАКТОР ЙОГО «SMART-ТРАНСФОРМАЦІЇ» – КЕЙС ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ. У роботі розглядається позиціонування Харківської області і міста Харкова як «розумного (smart) регіону». Наведено стратегічні та операційні цілі їх розвитку в аспекті формування «розумної (smart) економіки». Проаналізовано інноваційно-інвестиційний потенціал Харківської області як фактор її smart трансформації; виявлено особливості його формування та використання в аспекті розвитку Харківської області як «розумного (smart) регіону». За допомогою математико-статистичного аналізу визначено місце Харківської області в національному вимірі за окремими показниками інноваційної та інвестиційної діяльності та в цілому за інноваційно-інвестиційним потенціалом. Зокрема зазначено, що Харківська область займає 2 місце в Україні за інтегральним показником формування і використання інноваційно-інвестиційного потенціалу, поступаючись тільки Києву. За результатами факторного аналізу обґрунтовано фактори формування та використання інноваційно-інвестиційного потенціалу Харківської області (соціально-економічний, розселяючий, житлово-торгівельний та соціально-демографічний), їх зміст (факторні навантаження) та внутрішньорегіональні особливості впливу (факторні ваги). Використовуючи кластерний аналіз (метод Варда, евклідова відстань), було проведено групування міст і районів Харківської області за подібністю їх інноваційно-інвестиційної діяльності (було виділено 4 групи міст та 5 груп районів). Результати кластерного аналізу дозволили зробити висновок, що Харківська область характеризується значною територіальною диференціацією особливостей формування й використання інноваційно-інвестиційного потенціалу її адміністративно-територіальних одиниць, що в першу чергу пов'язано зі специфікою їх соціально-економічного розвитку. Безперечними лідерами є місто Харків та Харківський і Дергачівський райони, які характеризуються найвищою інвестиційною привабливістю та інноваційною активністю, і в цілому – найбільшим інноваційно-інвестиційним потенціалом. Виявлені особливості територіального розподілу інноваційно-інвестиційного потенціалу регіону дозволили виявити проблеми та окреслити перспективи подальшого використання наявних його ресурсів.

Ключові слова: розумна (smart) економіка, розумна (smart) трансформація, інноваційно-інвестиційний потенціал, Харків, Україна.

Л. Н. Немец, К. В. Мезенцев, Е. Ю. Сегіда, Ч. Морар, Н. В. Гусева, В. А. Пересадыко, Е. Ю. Телебенева. **ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНА КАК ФАКТОР ЕГО «SMART-ТРАНСФОРМАЦИИ» – КЕЙС ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ УКРАИНЫ.** В работе рассматривается позиционирование Харьковской области и города Харькова как «умного (smart) региона». Приведены стратегические и операционные цели их развития в аспекте формирования «умной (smart) экономики». Проведен анализ инновационно-инвестиционного потенциала Харьковской области как фактора ее smart трансформации; выявлены особенности его формирования и использования в аспекте развития Харьковской области как «умного (smart) региона». С помощью математико-статистического анализа определено место Харьковской области в национальном измерении по отдельным показателям инновационной и инвестиционной деятельности и в целом по инновационно-инвестиционному потенциалу. В частности отмечено, что Харьковская область занимает 2 место в Украине по интегральному показателю формирования и использования инновационно-инвестиционного потенциала, уступая только Киеву. По результатам факторного анализа обособлены факторы формирования и использования инновационно-инвестиционного потенциала Харьковской области (социально-экономический, расселенческий, жилищно-торговый и социально-демографический), их содержание (факторные нагрузки) и внутрорегиональные особенности воздействия. Используя кластерный анализ (метод Варда, эвклидово расстояние), было проведено группирование городов и районов Харьковской области по подобию их инновационно-инвестиционной деятельности (было выделено 4 группы городов и 5 групп районов). Результаты кластерного анализа позволили сделать вывод, что Харьковская область характеризуется значительной территориальной дифференциацией особенностей формирования и использования инновационно-инвестиционного потенциала ее административно-территориальных единиц, что в первую очередь связано со спецификой их социально-экономического развития. Бесспорными лидерами являются город Харьков и Харьковский и Дергачевский районы, характеризующиеся самой высокой инвестиционной привлекательностью и инновационной активностью, и в целом – самым большим инновационно-инвестиционным потенциалом. Выявленные особенности территориального распределения инновационно-инвестиционного потенциала региона позволили выявить проблемы и определить перспективы дальнейшего использования имеющихся его ресурсов.

Ключевые слова: умная (smart) экономика, умная (smart) трансформация, инновационно-инвестиционный потенциал, Харьков, Украина.

Formulation of the problem. Recently, Kharkiv region was increasingly positioned as a "smart region" and Kharkiv as a "smart city", defined as a modern, social city, a city of arts, research, tourist city (SMART = Social, Modern, Art, Research, Tourism) (Zhavzharova, 2016). Moreover, the emergence of "smart economy" and the availability of people with jobs is one of the six strategic objectives for the city development by 2020, which includes three operational objectives: 1) innovative active entrepreneurial city (Kharkiv is Ukraine's leading innovation center, Kharkiv – active entrepreneurial city); 2) information – creative city (Kharkiv is a leading information technology center in Ukraine, Kharkiv – a tourist center of Eastern Europe, Kharkiv is a creative center of the European level); 3) Scientific and educational city of knowledge-based economy (*Development strategies...*, 2016).

Thus, the formation of Kharkiv region as an "intelligent region" with "smart economy" implies, among other objectives, a comprehensive development of innovation and investment activities in the region, its transformation into Ukraine's leading innovation and investment center. A mandatory condition of the region's progressive socio-economic development is the economy of innovation type, which is impossible without investment. In economics intellectual products (innovation developments) as scientific results of human activities are of primary importance. Innovation is a significant precondition for economic development of both economic systems of individual regions, and the country as a whole (Fedotova, 2015).

Among the factors of "smart (intelligent) economic" development are innovations, science and education, IT-technologies, intellectual potential, etc. Not least in the importance is investment in human

capital, growth of highly technological section in the social production sphere, the added value increase in the composition of output created by intellectual component. The changing nature of human labor in favor of creative and intellectual activities is also a factor of such an economy where innovation and investment activities are the priority areas (*Development strategy ...*, 2016).

The regions characterized by the existence of innovative economic structures and activities benefit from the existence of the appropriate regional development policies, that support and stimulate the economic growth based on innovation, rather than assist the regions in decline (e.g. the old industrial regions) (Benedek, 2004; Cocean, 2005). A new perspective explains that the innovative regions through the different propulsive industries support a complex regional system, considering also the delay of the regional innovation comparing with the historic expansion of industry from a specific area (Quatraro, 2009). Creativity is the main driving force in regional economic growth, concentrated especially in situations where the society generates and applies new ideas, information and technology (Strom, Nelson, 2010). The new regionalism rhetoric supports the idea that the regions have to be coupled strategically with the global economy through critical links (Yeung, 2009). The measures aimed at growing and diversifying economic activities, stimulating the investment in the private and public sector, contributing to reducing unemployment and leading to an improvement of overall living standards, support sustainable actions that converge with the areas of competence of regions, generate a dynamic and sustainable growth based also on the decentralization of the decision-making process (from the central or governmental

level to the regional communities) and on the partnership between all actors involved in the overall regional development process (Benedek, 2004).

Analysis of previous research. R. G. Hollands in the article «Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?» (Hollands, 2008) focuses on the difficulties of smart cities definition. The author emphasizes that smart cities should be non-formal entities, namely, those that improve the lives of their inhabitants. Despite a detailed analysis of some key concepts and concrete cases of smart cities, the author underestimates cities in the development at the regional and national levels.

Also, a number of authors, such as R. Krueger, D. Gibbs (««Third wave» sustainability? smart growth and regional development in the USA»), A. Kylili, P. A. Fokaides («European smart cities: The role of zero energy buildings») examine specific examples of some regions of smart cities, including the western coast of the United States and Europe (Krueger, Gibbs, 2008; Kylili, Fokaides, 2015). The main message of these studies is their focus on highlighting positive changes in regions where smart cities are formed. However, there are no criticisms or suggestions for the development of other cities in the context of the concept of smart cities.

We can say that the city itself is the main center for the birth and spread of investments. It is in this context that P. Benneworth and G.J. Hospers in the article «The new economic geography of old industrial regions: universities as global/local pipelines» (Benneworth, Hospers, 2007) argue that the university of major cities should be one of the main sources of innovation in the regions. This actually confirms the educational component in the concept of smart cities.

A. Rodríguez-Pose and R. Crescenzi in the article «R&D, spillovers, innovation systems, and the genesis of regional growth in Europe», generate the idea of distributing innovations in the region, precisely because of the spread of knowledge. Following the three approaches: "linear model" of innovation; regional innovation systems; and the dissemination of knowledge, the authors confirm their own theory. They just do not take into account the fact that only one or two cities in the region have an innovative potential, therefore, the development of measures for the harmonious development of the region is important. (Rodríguez-Pose, Andrés and Crescenzi, Riccardo, 2008).

In our opinion, J. Kaivo-Oja, S. Vähäsantanen, A. Karppinen, T. Haukioja's research on the development of regions and the current conditions for the establishment of green cities and the spread of innovation has been conducted as deep as possible, the results of which are described in the article «Smart specialization strategy and its operationalization in

the regional policy: case Finland». Smart cities are only part of the intelligent development of the regions. Sustainable development of the region is, above all, smart development. In this paper, a set of methods is given to determine the level of the territory development in this context. Unfortunately, there are not enough comparative studies, but this provides an opportunity for further research (Kaivo-Oja, Vähäsantanen, Karppinen, Haukioja, 2017).

Materials and methods. This paper is based on quantitative research approach aimed at statistical assessment of the key factors and features of the innovation and investment potential of the region. For this purpose we used multivariate methods of factor and cluster analysis. Using the first one, we identified and interpreted determinants of innovation and investment potential of the region as a whole and their manifestation in different territorial units. Cluster analysis (Ward's method) allowed to group territorial units by similarity of nine determined indicators which express different aspects of the capital investments and innovation-active enterprises.

Kharkiv region is taken as a case study in order to explain the main drivers and spatial patterns of the innovation and investment potential of the monocentric industrial region in post-Soviet space. Kharkiv is the second most populous city in the country, which for some time (from 1919 to 1934) served as the capital of Soviet Ukraine. Kharkiv is the center of metropolitan region that in whole or partly covers Kharkiv, Sumy, Poltava and Luhansk administrative regions. In informational space Kharkiv is positioned as a regional capital of the North-East Ukraine. The regional capital is usually far ahead in the region by the most of key socio-economic indicators, the center of gravity of population and capital. However, during the period from 1989 to 2014 Kharkiv's population decreased by nearly 10 %. In terms of capital investment and services sold per capita Kharkiv is the leading center.

The empirical part of the paper is based on official statistics from the Main Department of Statistics in the Kharkiv region, in particular Statistical Yearbook "Cities and districts of Kharkiv region in 2015" and "Kharkiv region in 2015".

In order to display the innovation and investment potential of Kharkiv region as a factor of its "smart transformation", to identify the features of its formation and use in terms of Kharkiv region's "smart transformation" priorities, the paper is organized in the following way. In the first part we determine the role of innovation and investment potential of Kharkiv region at the national scale. The next section is devoted to identification of the factors of innovation and investment potential formation. In the following section we attempt to explain the spatial pattern of the investment and innovation activity in the

Kharkiv region. The paper ends with some conclusions that emerge from the analysis.

Results and discussion. Innovation and investment potential of Kharkiv region at the national scale. From the standpoint of social geography *innovation and investment potential* of the region can be defined as the opportunities of regional socio-economic system to conduct innovative activity based on the resource component formed by scientific, intellectual, human, financial, technical and technological resources. The formation of the region's investment potential is ensured by innovation development and achievement of competitive advantages in the region. Kharkiv region is characterized by all these components.

Kharkiv region occupies one of the leading places in Ukraine in terms of innovation and investment activity. Thus, regional differences in 19 indicators of investment and 19 indicators of innovation in 2015 have been analyzed. The analysis showed that:

- in 2015 Kharkiv region was the leader in the country *by three indicators* (the number of companies that have sold innovative products abroad, in units; the number of industrial enterprises that implemented innovations, in units; the number of implemented new technological processes at the industrial enterprises, in units);

- *by five indicators* (utilized capital investments from the state budget, UAH and share of the total volume; utilized capital investments at the expense of local budgets, share of the total volume; the number of patents for inventions (national applicants, without non-classified), in units; sales of innovative products from Ukraine, UAH) – *obtain the 2nd place in the country*;

- *by six indicators* (utilized capital investments at the expense of local budgets, UAH; number of industrial enterprises engaged in innovative activities, in units; number of industrial companies that have sold innovative products, in units; the volume of innovation products sold, UAH; number of acquired new technologies (technical achievements) in Ukraine and abroad, in units; the number of transferred new technologies (technical achievements) in Ukraine and abroad, in units) – *3rd place in the country*;

- *by one indicator* (total expenditure on innovation activity, UAH) – *4th place in the country*;

- *by seven indicators* (direct foreign investments, USD and share of the total volume; utilized capital investments, UAH and share of the total volume; number of implemented technological processes items per industrial company that implemented innovations, units per company; number of introduced innovative products at industrial enterprises, in units; the volume of utilized innovation products per industrial company that implemented innovative

products, USD per company) – *5th place in the country*;

- *by six indicators* – *6th place in the country*;
- *by two indicators* – *8th place in the country*;
- *by two indicators* – *10th place in the country*;
- *by one indicator* – *12th place in the country*;
- *by one indicator* – *13th place in the country*;
- *by two indicators* – *14th place in the country*;
- *by one indicator* – *15th place in the country*;
- *by one indicator* – *16th place in the country*.

To determine the role of Kharkiv region by all indicators of innovation and investment activities we have ranked all regions of Ukraine by selected statistical indicators (19 indicators of investment and 19 indicators of innovation activity). This process involved the following steps:

1. Rationing of simple indicators, bringing them to a common denominator.

2. Linear scaling of normalized parameters, i.e. parameters transformation so that their numerical values – indexes were in the range of 0-1. To do this, extreme (lowest and highest) values were determined by each indicator by the formula (Niemets *et al.*, 2009):

$$I_j = \frac{X_{i,j} - X_{\min,j}}{X_{\max,j} - X_{\min,j}} \quad (1)$$

where I_j – normalized variable, $j = 1, 2, 3 \dots N$ (N – number of variables in the sample; in this case $N = 38$); $X_{i,j}$ – the current value of the j -normalized variable, $i = 1, 2, 3 \dots M$ (M – number of objects characterized by j -indicator; in this case $M = 25$); $X_{\min,j}$, $X_{\max,j}$ – the smallest and largest value of j - indicator in the number of observations.

According to (1), the object with the largest value of a certain indicator has index equal to 1, and the lowest – 0, the indices of all other objects have numeric values in the range of 0-1. Average indices of innovation and investment activity in the regions of Ukraine were calculated by formula (2) (Niemets *et al.*, 2009):

$$I_{aver} = \frac{\sum_{j=1}^N I_j}{N} \quad (2)$$

All designations are as above.

3. Ranking of regions in Ukraine in terms of their innovation and investment activity in descending order of average index. As a result, we received the order in which the place (rating) of a region as to the development of innovation and investment activity clearly defines its position among other regions. This procedure is done graphically on the Pareto charts (Niemets *et al.*, 2009):

Thus, it is clear from *Figure 1* that Kharkiv region occupies the second place in Ukraine as to the integral index of formation and use of innovation and investment potential, conceding only the city of Kyiv.

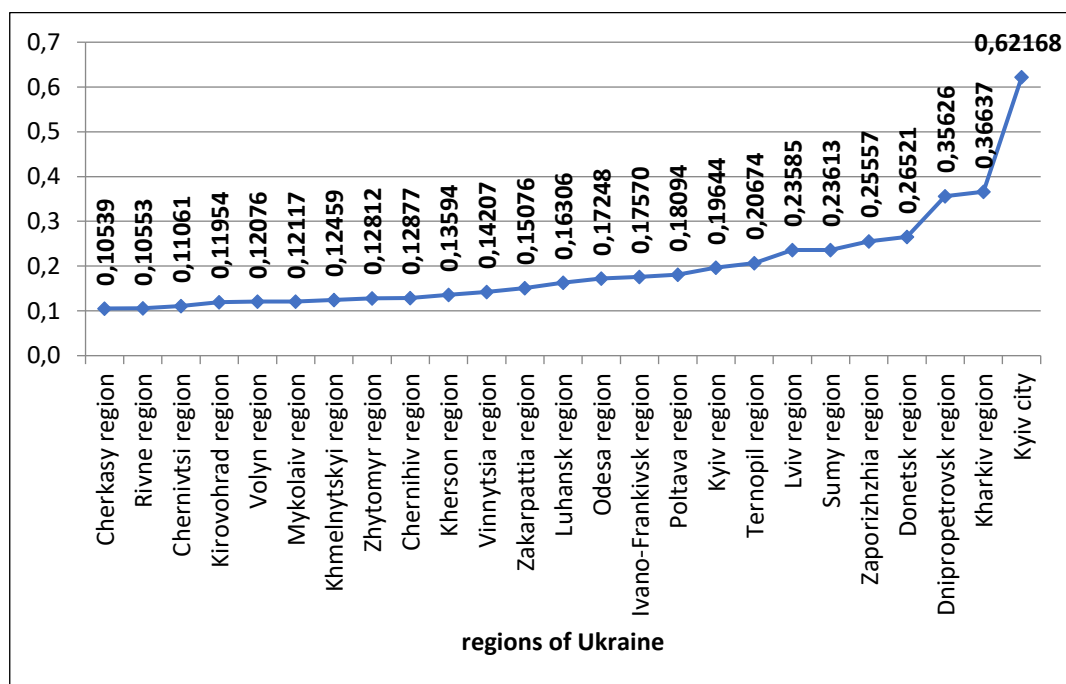


Fig. 1. Pareto chart showing distribution of the regions of Ukraine as to the average index of innovation and investment activity in 2015. (Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017; without temporarily occupied AR Crimea and the city of Sevastopol)

Factors of innovation and investment potential formation and use in Kharkiv region.

The authors have analyzed the factors affecting the formation and use of innovation and investment potential of Kharkiv region based on the principal components method of varimax factor rotation (Niemets, Sehida, 2017). This allowed us to calculate the factor load on each of the indicators. Considering available accessible statistical information for the study, we selected 87 indicators, reflecting the demographic, economic, social and environmental characteristics of the administrative units in Kharkiv region in 2015. They were linearly scaled, too. Equation (1) is used to calculate the indicators of positive qualities or objects' characteristics. For indicators of negative trends and the objects' characteristics (such as mortality, the number of immigrants, pollutants emissions into the atmosphere from stationary sources, the number of victims of production accidents, etc.), the indexes are determined by the following formula (Niemets et al., 2009):

$$I_j = 1 - \frac{X_{i,j} - X_{min,j}}{X_{max,j} - X_{min,j}} \quad (3)$$

Using inverse index values for "negative" indicators by formula (3), it is possible to correctly rank administrative units in the region according to all sample indicators of their innovation and investment potential. In other words, the administrative unit with higher "positive" and lower "negative" indicators of innovation and investment potential has higher priority ranking (Niemets et al., 2009).

The first step of the factor analysis assumes that the number of factors is equal to the number of indicators. We calculated the variance of each factor to determine the optimum number of factors (Table 1).

The optimal number of factors can be determined using three criteria:

- the Kaiser's rule (Kaiser, 1960; Horn, 1965): only factors with eigenvalue greater than 1 (in our case 10 factors) are selected;
- by a cumulative percentage of variance: the factors that cumulatively cover approximately three-quarters of the initial information are selected as the determining ones, i.e. the cumulative percentage exceeds 75 % (in our case 3 factors);
- the Cattell's scree test (Cattell, 1966): on the variances graph (scree plot) there is a place where the variance reduction slows at most from left to right. It is assumed that there is only a "factorial scree" to the right from this point.

- the scree plot (Figure 2) shows 3-4 factors.

Thus, we assume that 4 factors have the biggest impact on the formation and use of innovation and investment potential in Kharkiv region.

As a result of varimax raw rotation we obtained a matrix of factor loadings (Table 2).

Based on the factor loadings values we have found the content of factors affecting the formation and use of innovation and investment potential in Kharkiv region (it includes the indicator with the largest load, that is closest to the module unit). If the indicator's factor loading is less than 0.7 for each of the 4 factors ("threshold" value), this figure is not

Absolute, relative and cumulative values of factors variance in formation and use of innovation and investment potential of Kharkiv region, 2015

(Source: *Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017*)

| Factor | Variance | Percentage of total variance % | Cumulative variance | Cumulative percentage % |
|---------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 51,38861 | 59,06737 | 51,38861 | 59,0674 |
| 2 | 9,12912 | 10,49324 | 60,51773 | 69,5606 |
| 3 | 5,34415 | 6,14270 | 65,86188 | 75,7033 |
| 4 | 3,58838 | 4,12457 | 69,45026 | 79,8279 |
| 5 | 2,71034 | 3,11533 | 72,16060 | 82,9432 |
| 6 | 2,33007 | 2,67824 | 74,49067 | 85,6215 |
| 7 | 1,97916 | 2,27490 | 76,46983 | 87,8964 |
| 8 | 1,65993 | 1,90797 | 78,12976 | 89,8043 |
| 9 | 1,28006 | 1,47134 | 79,40982 | 91,2757 |
| 10 | 1,08531 | 1,24749 | 80,49513 | 92,5231 |
| 11 | 0,98116 | 1,12777 | 81,47629 | 93,6509 |
| 12 | 0,95369 | 1,09619 | 82,42998 | 94,7471 |
| 13 | 0,80606 | 0,92651 | 83,23604 | 95,6736 |
| 14 | 0,63228 | 0,72676 | 83,86833 | 96,4004 |
| 15 | 0,54853 | 0,63049 | 84,41685 | 97,0309 |
| 16 | 0,52826 | 0,60719 | 84,94511 | 97,6381 |
| 17 | 0,41100 | 0,47241 | 85,35611 | 98,1105 |
| 18 | 0,32970 | 0,37897 | 85,68581 | 98,4894 |
| 19 | 0,24490 | 0,28149 | 85,93071 | 98,7709 |
| 20 | 0,22109 | 0,25412 | 86,15180 | 99,0251 |
| 21 | 0,17934 | 0,20614 | 86,33113 | 99,2312 |
| 22 | 0,13684 | 0,15729 | 86,46798 | 99,3885 |
| 23 | 0,11492 | 0,13209 | 86,58289 | 99,5206 |
| 24 | 0,11114 | 0,12775 | 86,69404 | 99,6483 |
| 25 | 0,08198 | 0,09423 | 86,77602 | 99,7426 |
| 26 | 0,06208 | 0,07135 | 86,83810 | 99,8139 |
| 27 | 0,04036 | 0,04639 | 86,87846 | 99,8603 |
| 28 | 0,03791 | 0,04357 | 86,91637 | 99,9039 |
| 29 | 0,02850 | 0,03276 | 86,94487 | 99,9366 |
| 30 | 0,02319 | 0,02665 | 86,96806 | 99,9633 |
| 31 | 0,01432 | 0,01646 | 86,98238 | 99,9797 |
| 32 | 0,01160 | 0,01333 | 86,99397 | 99,9931 |
| 33 | 0,00603 | 0,00693 | 87,00000 | 100,0000 |

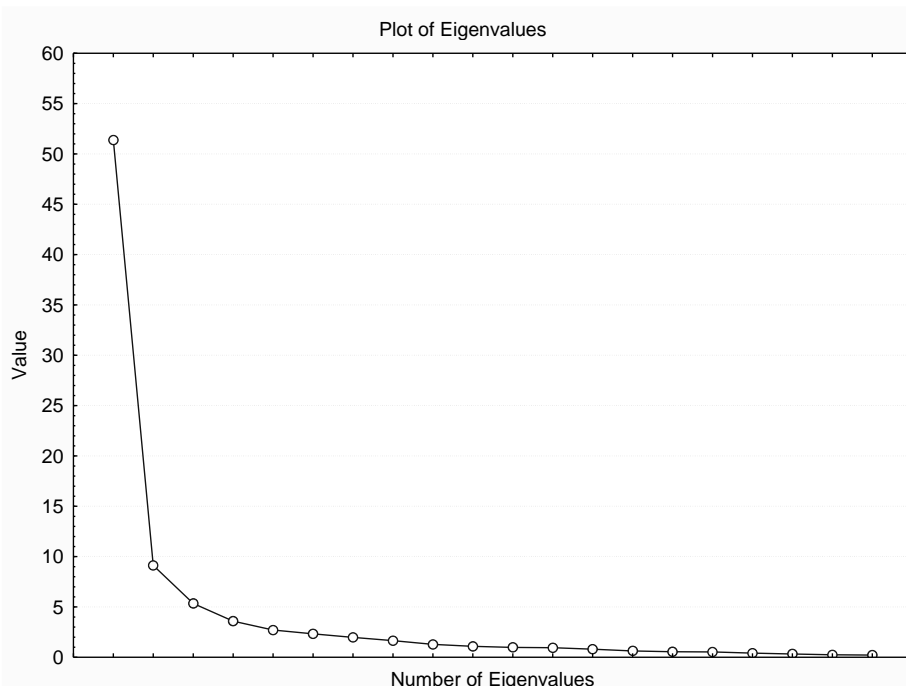


Fig. 2. Scree plot for determining the number of factors of formation and use of innovation and investment potential in Kharkiv region, 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

Table 2

Factor loadings (Varimax raw, principal components, marked loadings are >0,7)
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

| Indicators | Factor loadings | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | factor 1 | factor 2 | factor 3 | factor 4 |
| number of EDRPOU subjects, units | 0,99551 | 0,060204 | -0,003599 | 0,052213 |
| number of EDRPOU subjects, units per 1,000 people | 0,67855 | 0,156036 | 0,207699 | -0,251586 |
| number of residents, persons | 0,99264 | 0,052546 | 0,036952 | 0,082873 |
| population density, persons per sq km | 0,57896 | 0,544008 | -0,083907 | 0,385574 |
| urban population, persons | 0,99157 | 0,086698 | 0,008436 | 0,079167 |
| rural population, persons | -0,13334 | -0,693031 | 0,565982 | 0,061374 |
| fertility, persons | 0,99215 | 0,049648 | 0,040742 | 0,087964 |
| fertility, per 1,000 people | -0,21384 | -0,060433 | -0,078177 | -0,028107 |
| mortality, persons | -0,99079 | -0,041197 | -0,061307 | -0,083125 |
| mortality, per 1,000 people | 0,34296 | 0,168995 | 0,079378 | 0,811672 |
| natural increase (decrease) of population, persons | -0,98445 | -0,024820 | -0,100576 | -0,073526 |
| natural increase (decrease) of population, per 1,000 people | 0,27774 | 0,151452 | 0,054970 | 0,812517 |
| number of arrivals, persons | 0,99115 | 0,051746 | 0,041883 | 0,080218 |
| number of arrivals, per 1,000 people | 0,04083 | 0,001577 | 0,079996 | 0,076452 |
| number of departures, persons | -0,99240 | -0,058354 | 0,000164 | -0,081945 |
| number of departures, per 1,000 people | 0,07150 | 0,114605 | 0,300115 | -0,022231 |
| net migration, persons | 0,93153 | 0,016054 | 0,248997 | 0,067299 |
| net migration, per 1,000 people | 0,10150 | 0,094976 | 0,329134 | 0,062964 |
| need of employers for workers to fill vacant jobs (vacant positions), persons | 0,99500 | 0,050386 | -0,035804 | 0,040674 |
| number of registered unemployed, persons | -0,91113 | 0,239141 | 0,092283 | 0,031918 |
| load per one vacancy (vacant position), persons | 0,11310 | 0,426649 | 0,063702 | 0,124947 |

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| employment of registered unemployed, persons | 0,87149 | -0,341453 | -0,075073 | -0,040626 |
| average number of staff, people | 0,99376 | 0,061191 | -0,010997 | 0,073592 |
| average monthly nominal salary of staff, UAH | 0,21312 | 0,051573 | 0,042555 | -0,002110 |
| passenger road transport, mln. pass. km | 0,96110 | 0,022111 | 0,194298 | 0,084335 |
| road passenger transport thousand, passengers | 0,97265 | 0,050487 | 0,149504 | 0,091892 |
| kindergartens, units | 0,99054 | -0,037103 | 0,037206 | 0,079801 |
| children in kindergartens, persons | 0,99229 | 0,074587 | 0,002335 | 0,082532 |
| general education establishments, units | 0,98209 | -0,112538 | 0,068380 | 0,096345 |
| children in secondary schools, persons | 0,99216 | 0,058079 | 0,032550 | 0,088067 |
| number of pensioners who receive pension in the Pension Fund, persons | -0,99156 | -0,064151 | -0,029405 | -0,078834 |
| number of disable pensioners who receive pension in the Pension Fund, persons | -0,99000 | -0,058806 | -0,056203 | -0,093825 |
| grants for reimbursement for housing and communal services, UAH | 0,95494 | 0,169490 | -0,046566 | 0,141213 |
| housing, sq m | 0,99042 | 0,047897 | 0,054105 | 0,091910 |
| urban housing, sq m | 0,98935 | 0,090650 | 0,025480 | 0,090268 |
| provision of housing, the average per capita sq m | -0,28100 | -0,105624 | -0,062037 | -0,429889 |
| housing commissioning, sq m | 0,98258 | 0,029255 | 0,142865 | 0,074149 |
| retail trade turnover, including restaurant management, mln. UAH | 0,99417 | 0,075627 | -0,026029 | 0,054739 |
| emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources, tons | -0,88084 | 0,014664 | -0,055901 | -0,103251 |
| emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources of pollution per capita, kg | 0,05821 | 0,071307 | -0,040661 | -0,046045 |
| existence of waste, tons | 0,00090 | 0,068708 | -0,051258 | 0,049997 |
| waste, tons | -0,95824 | -0,013562 | 0,042025 | -0,079767 |
| land area, sq km | -0,11036 | -0,944815 | 0,062182 | -0,103888 |
| share of urban population, % | 0,25634 | 0,647884 | 0,177431 | 0,422301 |
| share of rural population, % | -0,25634 | -0,647884 | -0,177431 | -0,422301 |
| number of towns, units | 0,17348 | 0,145166 | 0,362719 | 0,340077 |
| number of settlements, units | -0,04848 | -0,249782 | 0,892795 | 0,213570 |
| number of villages, units | -0,20860 | -0,868149 | 0,109527 | -0,136794 |
| number of female population, persons | 0,99268 | 0,050035 | 0,038042 | 0,083416 |
| number of male population, persons | 0,99239 | 0,054157 | 0,038038 | 0,083781 |
| men for 1000 women, persons | -0,00894 | -0,704546 | -0,122110 | 0,015408 |
| proportion of the population aged 0-14, % | -0,45530 | -0,098945 | -0,111255 | 0,100163 |
| proportion of the population aged 15-64, % | 0,39612 | 0,173551 | 0,192048 | 0,783713 |
| proportion of the population aged over 65, % | 0,19159 | 0,136283 | 0,149894 | 0,900222 |
| population aged 0-14 years, persons | 0,99093 | 0,048159 | 0,052373 | 0,093146 |
| population aged 15-64 years, persons | 0,99262 | 0,053910 | 0,036288 | 0,083347 |
| population aged over 65 years, persons | -0,99304 | -0,047677 | -0,034682 | -0,077108 |
| number of universities of I-II levels of accreditation, units | 0,97925 | 0,107298 | -0,073174 | 0,075612 |
| number of universities of III-IV levels of accreditation, units | 0,99469 | 0,066989 | -0,033248 | 0,038956 |
| number of victims of industrial accidents, persons | -0,99158 | -0,062932 | -0,016565 | -0,084566 |
| number of deaths from injuries related to production entities, persons | -0,93360 | -0,050049 | 0,038770 | -0,049405 |
| number of pensioners who receive pension in the Pension Fund, per 1,000 people | 0,07392 | -0,157529 | 0,083628 | 0,222864 |
| number of disabled people who are registered in the Pension Fund, persons | -0,99128 | -0,065568 | -0,039179 | -0,086071 |

| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| number of disabled people who are registered in the Pension Fund, per 1,000 people | 0,10296 | -0,152699 | 0,022761 | 0,070104 |
| number of detected crimes, units | -0,99156 | -0,078963 | -0,009785 | -0,082884 |
| transportation of goods by road, tons | 0,96571 | -0,027013 | 0,089890 | 0,053127 |
| freight road transport, mln. tons | 0,96343 | 0,023749 | 0,212582 | 0,100529 |
| profitability of agricultural production in the agricultural enterprises (total), % | -0,05243 | -0,387412 | -0,034978 | -0,159349 |
| profitability of agricultural production in the agricultural enterprises (crop), % | -0,04257 | -0,371942 | 0,008823 | -0,086593 |
| agricultural land, ha | -0,18976 | -0,942850 | -0,001100 | -0,107629 |
| commissioning of housing per 1,000 people, sq m | 0,32685 | -0,019260 | 0,738031 | 0,144963 |
| number of museums, units | 0,77634 | 0,055049 | -0,198485 | 0,077603 |
| number of clubs, units | 0,20093 | -0,914768 | 0,214941 | -0,002309 |
| number of library, units | 0,73878 | -0,597124 | 0,196386 | 0,043099 |
| number of movies demonstrators, units | 0,35869 | -0,153278 | -0,136877 | -0,005620 |
| children's health and recreation facilities working in summer, units | 0,96136 | -0,060776 | 0,114648 | 0,144544 |
| use of fresh water, mln. m ³ | -0,05385 | 0,240685 | -0,044331 | 0,122450 |
| wastewater discharge, mln. m ³ | -0,94912 | -0,086303 | -0,099600 | -0,015144 |
| hotels and similar accommodation, units | 0,98257 | 0,099171 | -0,060186 | 0,087316 |
| specialized accommodation facilities, units | 0,21249 | -0,179565 | 0,064124 | -0,041035 |
| retail trade turnover per capita, USD | 0,70237 | 0,384451 | 0,106057 | 0,357142 |
| wholesale trade turnover, mln. UAH | 0,98680 | 0,054531 | 0,096383 | 0,069779 |
| number of enterprises, units | 0,99547 | 0,062153 | -0,014030 | 0,046786 |
| volume of products (goods and services), per capita, USD | 0,42070 | -0,133125 | 0,783406 | 0,129330 |
| volume of products (goods and services), USD | 0,98751 | 0,036375 | 0,113500 | 0,070089 |
| income before tax, UAH | -0,98303 | -0,106150 | 0,013372 | -0,017585 |
| profitability of operating companies (the ratio of financial result from operating activities to the expenses for operating activities), % | -0,16523 | -0,269938 | -0,221272 | -0,079203 |
| Expl. Var | 49,87322 | 7,354603 | 3,395069 | 4,335184 |
| Prp. Totl | 0,57326 | 0,084536 | 0,039024 | 0,049830 |

included in the analysis because it is statistically negligible. In the analysis of simulation results, it has been found out that 21 of the 87 variables have a load factor lower than the threshold, so they are not taken into account. Given the proportion of variance, we consider the first two factors the most important (1 st factor accounts for 51.4 % of the total variance of the output data, the 2nd – 9.1 %). Interpretation of factor analysis made it possible to identify the following hypothetical factors:

- 1) social-economic (51 variables) (Table 2);
- 2) settlement (land area, sq km; number of villages, units; men for 1000 women, persons; agricultural land, ha; number of clubs, units);
- 3) residential and commercial (number of settlements, units; commissioning of housing per 1,000 people, sq m; volume of products (goods and services), per capita, USD);
- 4) social-demographic (mortality, per 1,000 people; natural increase (decrease) of population, per

1,000 people; proportion of the population aged 15-64, %; proportion of the population aged over 65, %).

The last line in the table 2 shows the intensity of the factors' influence. Thus, the numerical values of ~ 0.5733 ~ 0.0845 ~ 0.039 ~ 0.0498 correspond to 57.3 %, 8.5 %, 3.9 % and 5.0 % of the total variance.

According to the results of the factor analysis we calculated factor values in the context of towns and districts of Kharkiv region, i.e. the factor scores (Table 3). A factor scores help clarify the nature of the factors (Grice, 2001), it's a measure of administrative territorial units' contribution in the region to each factor. The matrix of factor scores is calculated by multiplying the output data matrix by a matrix of factor loadings. They are treated as relative evaluation of certain factors expression in each administrative-territorial unit and serve as the basis for their grouping. If the factor score is around 0, the impact of this factor corresponds to the impact for the whole region, if it is higher (especially more than 1) - the impact of this

factor is significantly larger, and if it is lower (less than 1), it is significantly smaller than in the region on the whole.

Figures 3-6 show the Pareto charts for each of the identified key factors. The value of operating factors is significantly differentiated in the region as the

Table 3

Factor scores: factors expression in formation and use of innovation and investment potential in territorial units of Kharkiv region
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

| Territorial units | Factors | | | |
|----------------------------------------|-----------------|------------|----------------------------|--------------------|
| | Social-economic | Settlement | Residential and commercial | Social-demographic |
| Administrative districts | | | | |
| Balakliyskyi | -0,012943 | -0,41622 | 1,25837 | -0,05634 |
| Barvinkivskyi | -0,103658 | 0,01885 | -0,64006 | -2,21852 |
| Blyzniukivskyi | -0,161482 | -1,04391 | -1,01354 | 0,13044 |
| Bohodukhivsk | -0,140554 | -0,40688 | 0,07828 | 0,33706 |
| Borivskyi | -0,168648 | -0,50965 | -0,76996 | -0,32321 |
| Valkivskyi | -0,186627 | -0,46103 | 0,22094 | 0,45619 |
| Velykoburlutskyi | -0,201767 | -0,62000 | -0,22711 | 0,36343 |
| Vovchanskyi | -0,049111 | -0,72581 | 1,26092 | -0,75825 |
| Dvorichanskyi | -0,194937 | -0,25947 | -0,61853 | -0,20790 |
| Derhachivskyi | -0,090785 | 0,20331 | 1,78549 | 0,58993 |
| Zachepylivskyi | -0,290887 | -0,27644 | -0,81797 | 0,83563 |
| Zmiivskyi | -0,069915 | -0,68523 | 1,99984 | -0,57279 |
| Zolochivskyi | -0,110314 | -0,59394 | -0,60813 | -0,44871 |
| Izyumskyi | -0,070529 | -0,79825 | -0,09116 | -1,70791 |
| Kehychivskyi | -0,325372 | -0,21456 | -0,63277 | 1,97141 |
| Kolomatskyi | -0,236911 | 0,04291 | -0,90643 | -0,91489 |
| Krasnohradskyi | -0,156885 | -0,04310 | 0,24018 | 0,79151 |
| Krasnokutskyi | -0,171773 | -0,76624 | -0,67197 | 0,41429 |
| Kupianskyi | -0,118932 | -0,92323 | -0,24131 | -0,35192 |
| Lozivskyi | -0,067930 | -1,00313 | -0,34547 | -0,12779 |
| Novovodolazkyi | -0,170216 | -0,69465 | -0,37033 | 0,23854 |
| Pervomaiskyi | -0,132441 | -0,50754 | -0,19078 | -0,92345 |
| Pechenizkyi | -0,205303 | 0,40757 | -0,44958 | -1,11659 |
| Sakhnovschynskyi | -0,184541 | -0,91047 | -1,47318 | 1,07339 |
| Kharkivskyi | 0,224979 | -0,44772 | 3,56553 | 0,81125 |
| Chuhivskyi | -0,174030 | -0,08061 | 1,06898 | 0,09612 |
| Shevchenkivskui | -0,199909 | -0,48414 | -0,50272 | 0,71749 |
| Towns of regional subordination | | | | |
| Kharkiv | 5,618901 | 0,36219 | -0,42219 | 0,23541 |
| Izyum | -0,139325 | 2,32396 | 0,14796 | -2,81221 |
| Pervomaiskyi | -0,444215 | 2,03714 | -0,39122 | 1,31002 |
| Kupiansk | -0,284051 | 2,02455 | -0,02548 | 0,39090 |
| Lozova | -0,223400 | 2,13779 | 0,02784 | 0,24184 |
| Lyubotyn | -0,377041 | 1,53646 | 0,12833 | 0,00431 |
| Chuhiv | -0,379449 | 1,77749 | -0,37276 | 1,53134 |

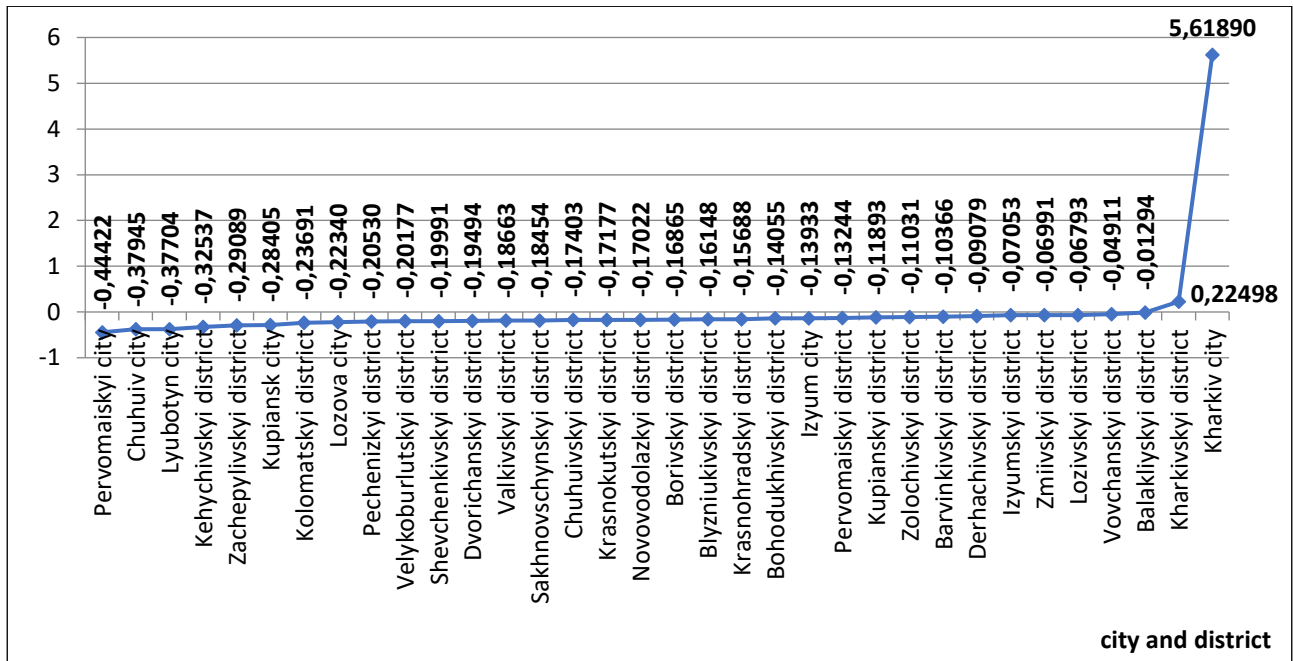


Fig. 3. Ranking of towns and districts of Kharkiv region as to the values of a social-economic factor, 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

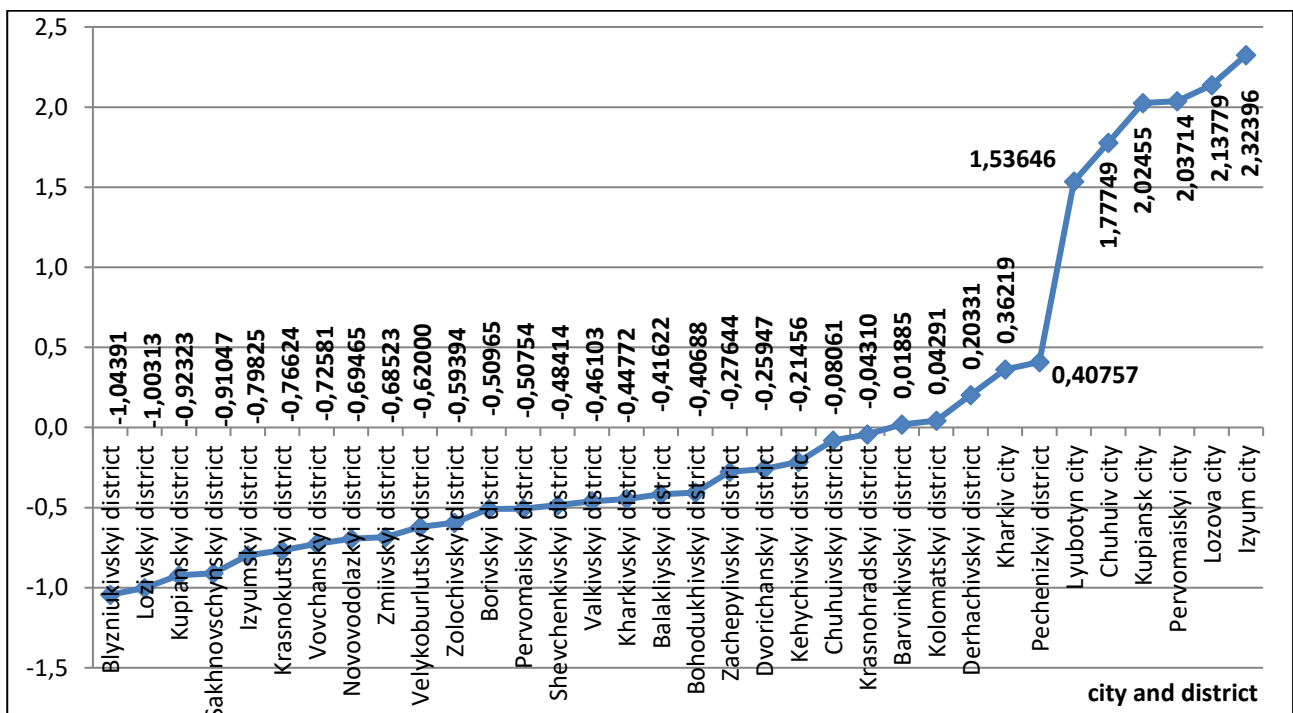


Fig. 4. Ranking of towns and districts of Kharkiv region as to the values of a settlement factor, 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

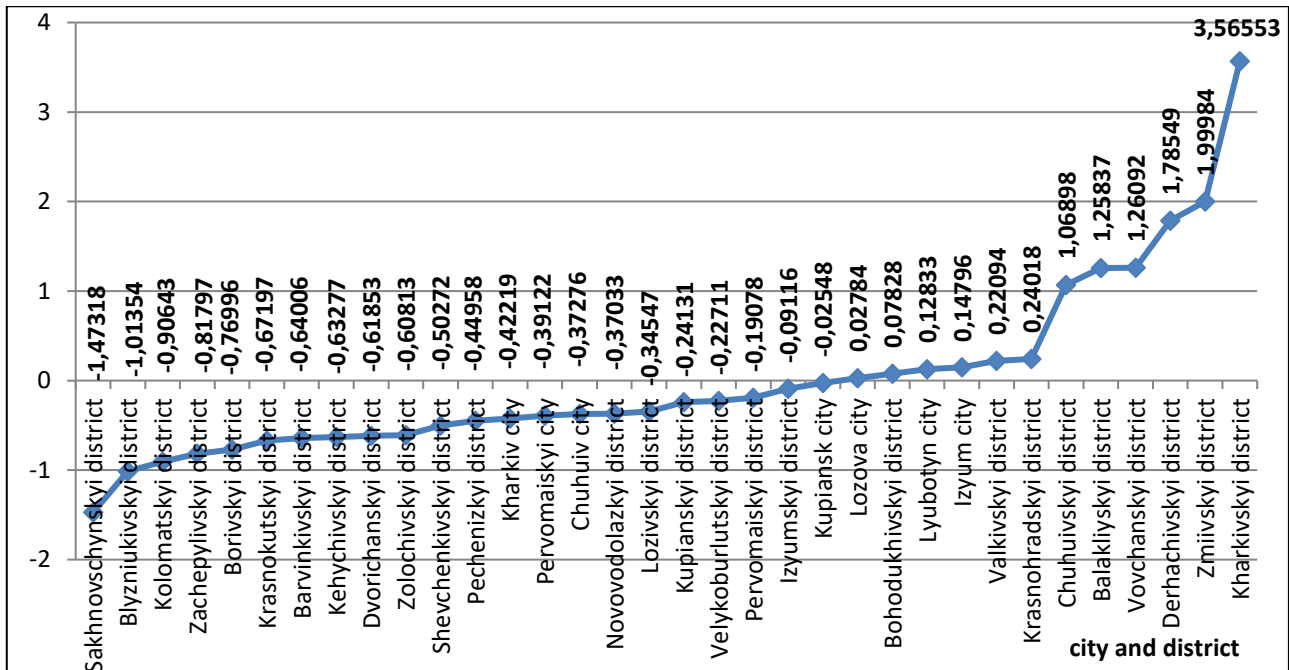


Fig. 5. Ranking of towns and districts of Kharkiv region as to the values of a residential and commercial factor, 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

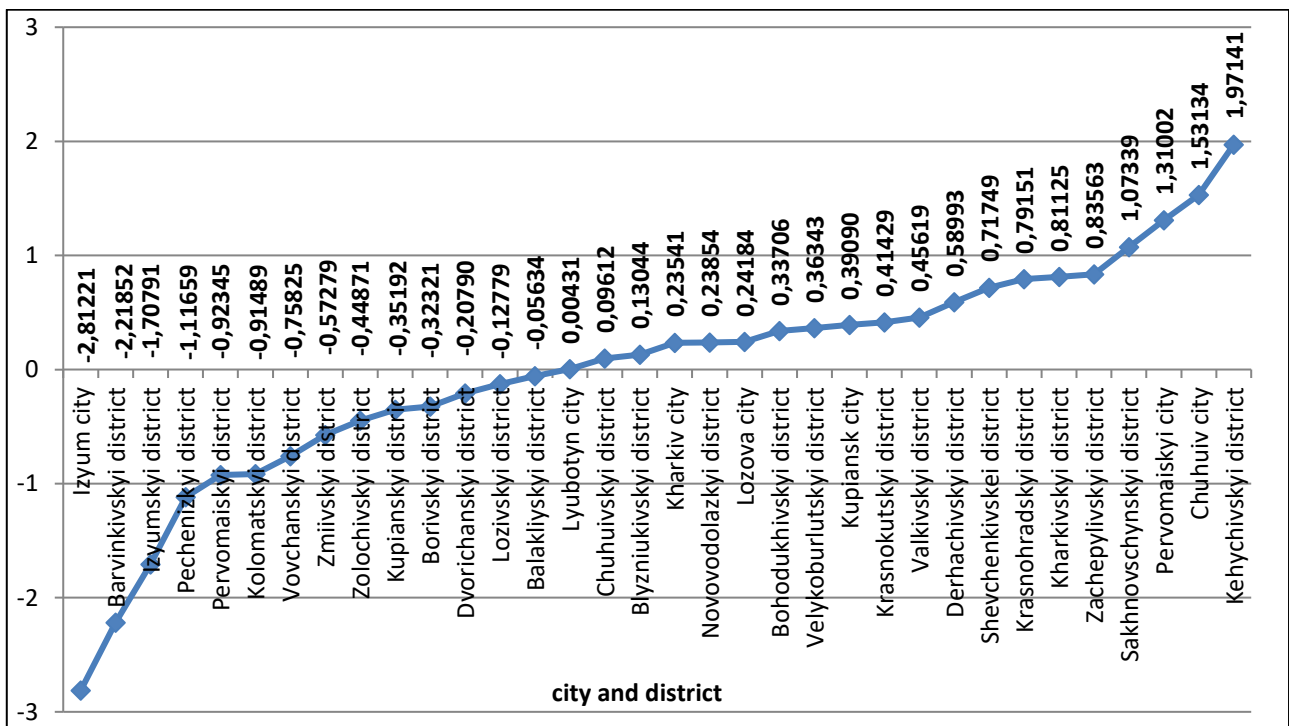


Fig. 6. Ranking of towns and districts of Kharkiv region as to the values of a social-demographic factor, 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

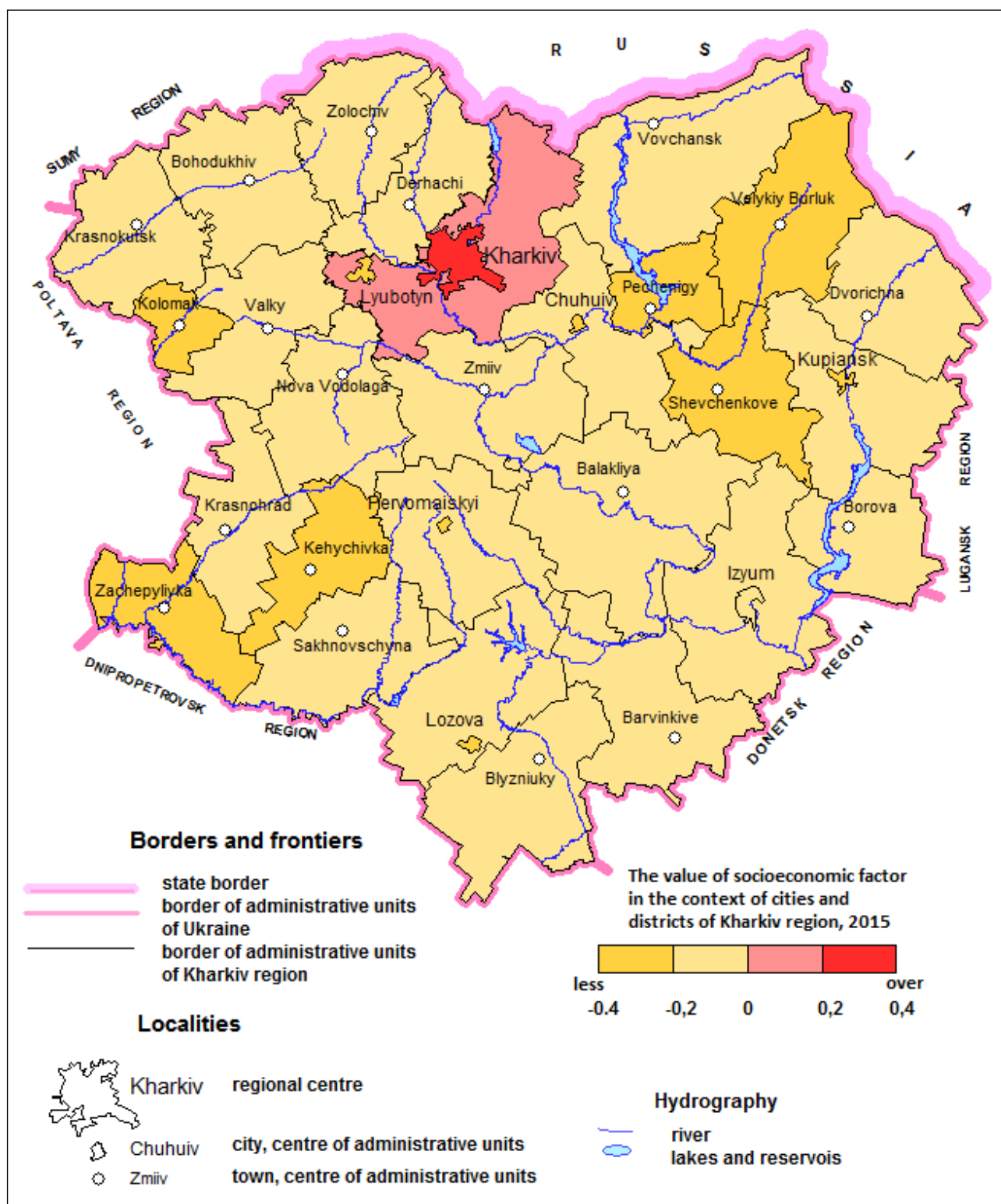


Fig. 7. The value of a social-economic factor in the context of towns and districts of Kharkiv region, 2015 (Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

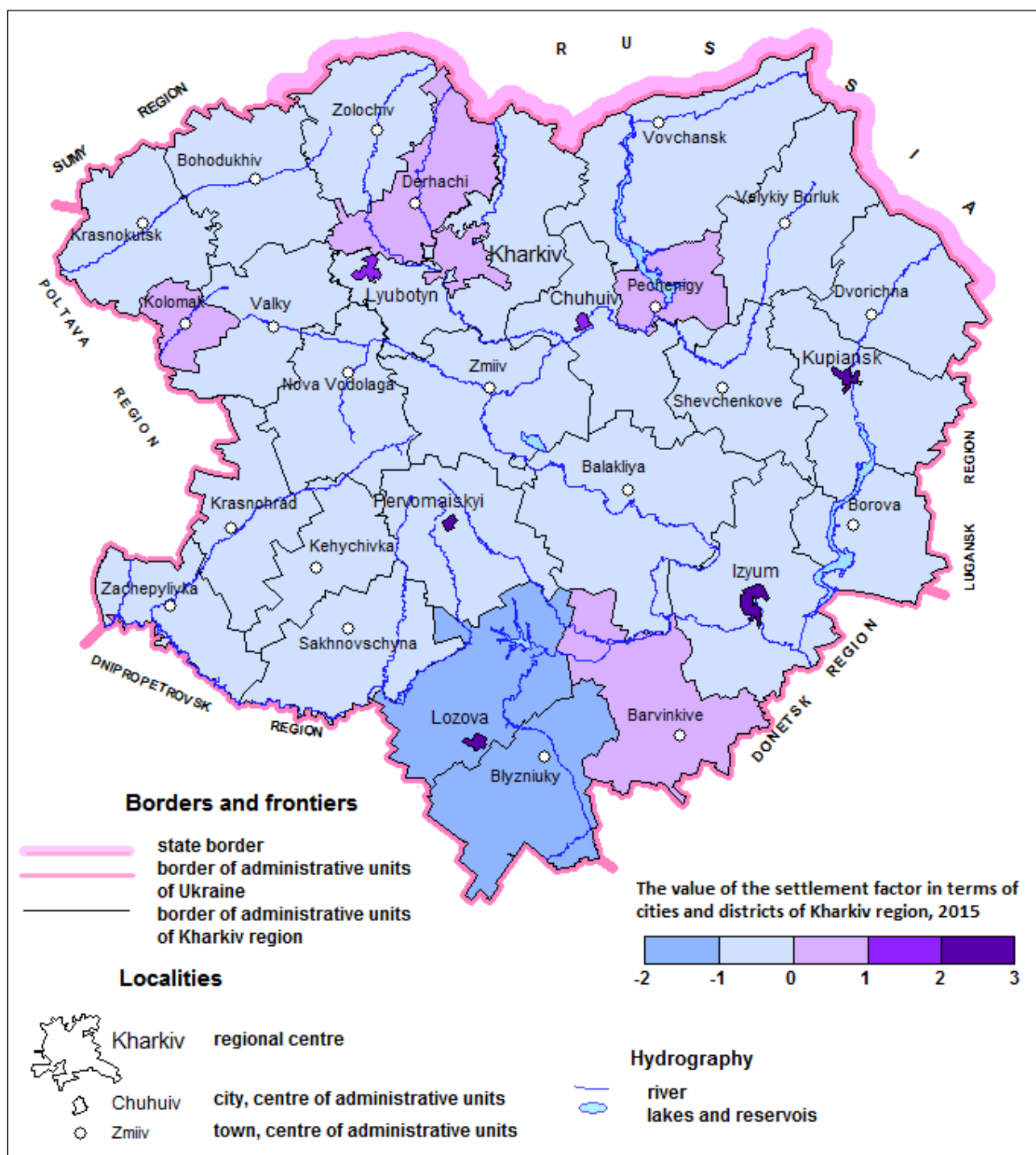


Fig. 8. The value of a settlement factor in terms of towns and districts of Kharkiv region, 2015
 (Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

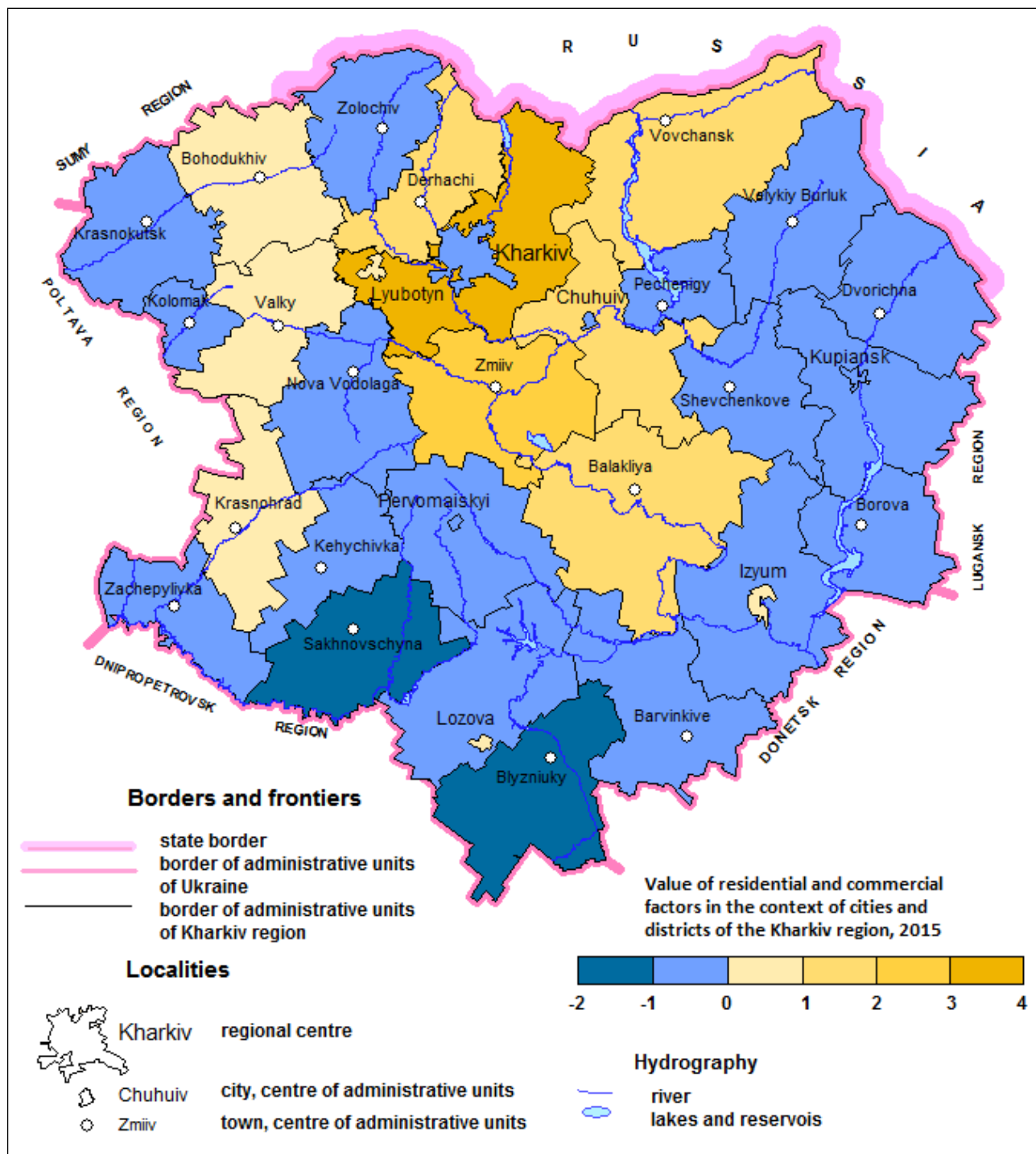


Fig. 9. Value of residential and commercial factors in the context of towns and districts of Kharkiv region, 2015
 (Source: Department of Statistics in the Kharkiv region, Niemets, Sehida, 2017)

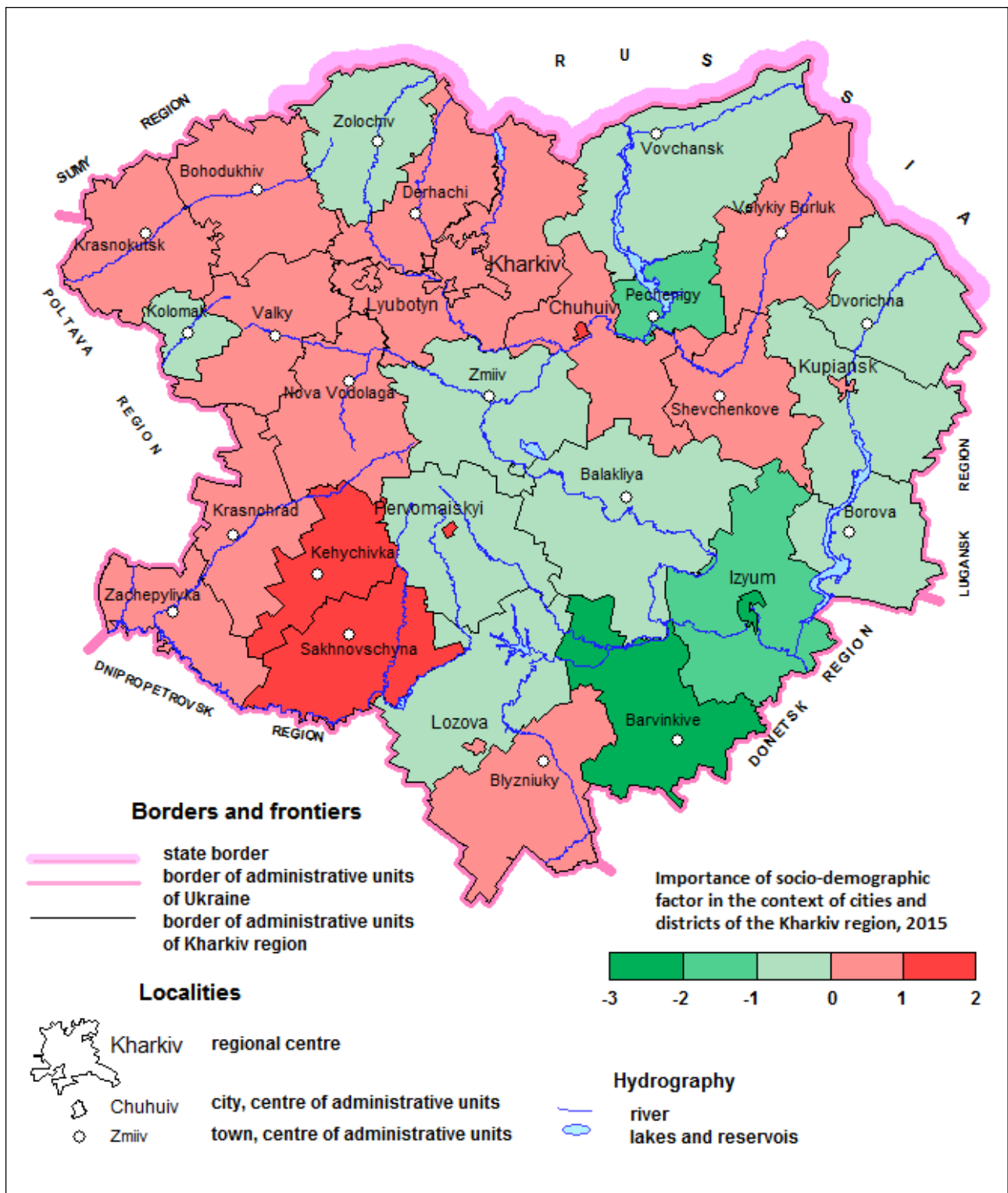


Fig. 10. The value of a social-demographic factor in the context of towns and districts of Kharkiv region, 2015

(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

map show (Figures 7-10). Here, we do not see streamlined spatial structures.

The strongest effect of an inverse nature social-economic factor is observed in the city of Kharkiv and Kharkivskiy district (Figures 3, 7), due to the largest concentration of social and economic activity objects in the regional center.

Big values of this factor are also characteristic of

districts located around Kharkiv (Volchansk, Zmiiv, Derhachi) and the areas where towns of regional subordination are located (Lozova, Izyum). Peripheral areas and towns with poor socio-economic indicators are not investment attractive and innovation active.

A settlement factor is also inverse by its function and most strongly manifested in the towns of regional subordination and highly urbanized areas (Figures 4,

8), as the highest innovation and investment potential is found in the towns and areas with predominant urban population (Izyum, Lozova, Pervomaisk, Kupiansk, Chuhuiiv, Liubotyn, Kharkiv, Pechenihi, Derhachi districts, etc.) (Niemets, Sehida & Husieva, 2015).

The impact of residential and commercial factor (inverse) is most strongly felt in the areas located around Kharkiv (Kharkiv, Zmiiv, Derhachi, Vovchansk districts), i.e in its suburbs which, due to suburban processes, are attractive for population relocation for permanent residence, building or buying a house, starting a business, renting premises, etc. (Figures 5, 9).

A social-demographic factor (inverse) is most evident in towns and districts with a relatively favorable demographic situation, high proportion of a core age group population (15-64 years), and at the same time, a small proportion of people aged 65+ which, on the one hand, provides a high labour resource potential of the territory, and, on the other hand, provides little demographic burden on working age people (Figures 6, 10).

Spatial pattern of innovation and investment potential distribution in Kharkiv region. To analyze the territorial characteristics of innovation and investment potential of Kharkiv region we used a *cluster analysis*, which allowed to split the districts and towns into clusters, i.e. groups, which included administrative territorial units with similar territorial characteristics of innovation and investment potential.

Cluster analysis is one of hierarchical classification methods that implies division of the original collection of objects or parameters into clusters (groups, classes) in multidimensional space. The coordinates of this space are all statistical indicators included in the sample. The clustering criterion is the minimum distance in the parameters space as the distance factor is a key concept in the cluster analysis.

In this study, as the dissimilarity measure we used *Euclidean distance*, which is the geometric distance in the multidimensional space between objects g and h (in this case, between every districts and towns of the region) and is calculated as follows (Pastor, 2010):

$$D_{gh} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{gj} - x_{hj})^2} \quad (4)$$

where D_{gh} – the distance between the objects (or clusters centers); X_{gj} , X_{hj} – variables in objects g and h ; J – the number of variables.

There are many methods of cluster analysis. To group the administrative- territorial units in Kharkiv region according to a similar innovation and investment potential we have chosen the Ward method. First, when each object (town or district) is a separate

cluster, the average values of all indexes are calculated. Then, squares of Euclidean distances are calculated from individual indicators of each cluster to the cluster estimated average. These distances are summed up, and a new cluster combines the clusters with the smallest increase in the total sum of distances (Blizorukov, 2008). Gradually, more and more administrative territorial units combine, aggregating clusters. With each step a greater number of different towns and areas are included into clusters. The last step combines all administrative territorial units into one cluster (Mezentsev, 2004). Thus, the obtained clusters are groups of administrative – territorial units that have similar development features. Implementation of clustering can trace the formation of regional groups and towns and their reorganization in time, allowing identification of the most stable trends and their established groups. This is very important for the development of perspective programs of optimal areas development. The results of cluster analysis are visually represented as a dendrogram – a tree-diagram containing n levels, each of which corresponds to one step in the sequential process of clusters consolidation (Bureeva, 2007).

To group the towns and districts of Kharkiv region by similar innovation and investment potential we selected nine indicators characterizing innovation and investment: capital investments (total, mln. UAH; per person, UAH per 1 person; the share of administrative-territorial unit in total volume, %), capital investments in housing construction (total, mln. UAH; per capita, UAH per capita; the share of the administrative-territorial unit in their total volume, %), innovation active enterprises (total number, units; the share of innovation active enterprises in total number of enterprises, %; the proportion of a given administrative-territorial unit in the total number of innovation active enterprises, %).

The resulting calculation data are visualized as a tree diagram (Pastor, 2020) (Figures 11-12) and presented at the map (Figure 13). Based on the Figure 13, it may be noted that Kharkiv region has a considerable territorial differentiation in formation and use of innovation and investment potential of its administrative units, which is primarily due to the specific socio-economic development.

The undisputed leader is the city of Kharkiv, as well as Kharkiv and Derhachi districts which are most attractive for investment and innovative activity, and in general, they have the most innovation and investment potential. Due to their favorable economic and geographical position (around Kharkiv), these areas are in many respects ahead of all other parts of the region as to the economic and social sphere development.

Implementation of clustering allowed us to group the towns and districts of Kharkiv region by

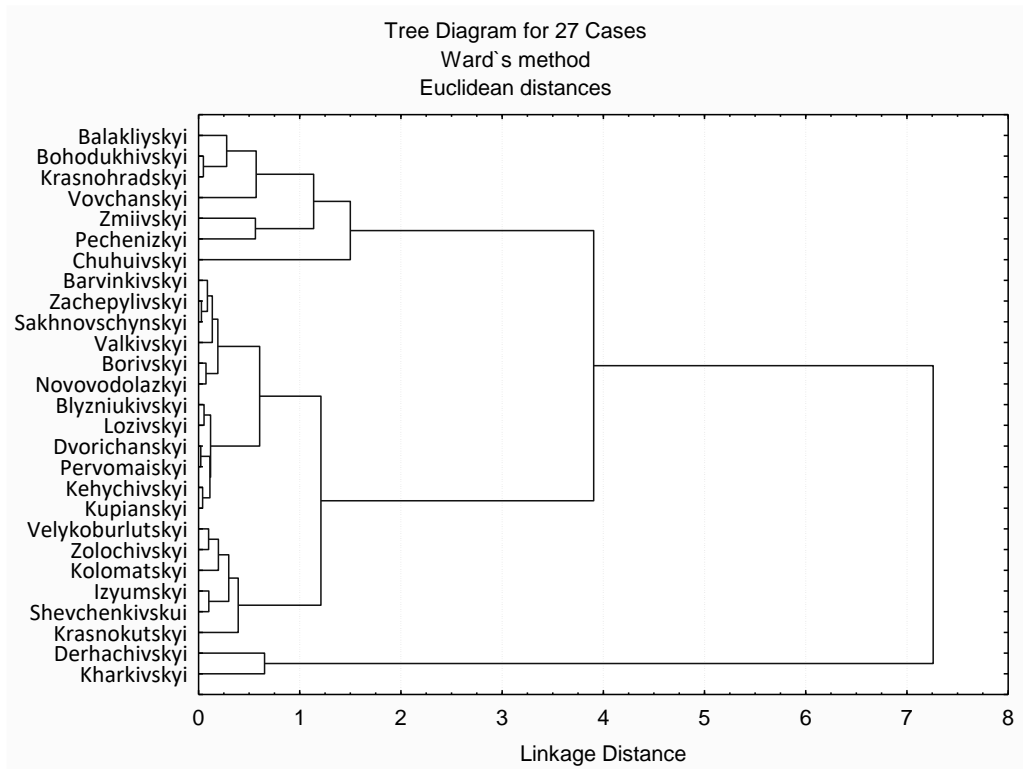


Fig. 11. Tree diagram of Kharkiv region districts clustering in terms of innovation and investment activity in 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

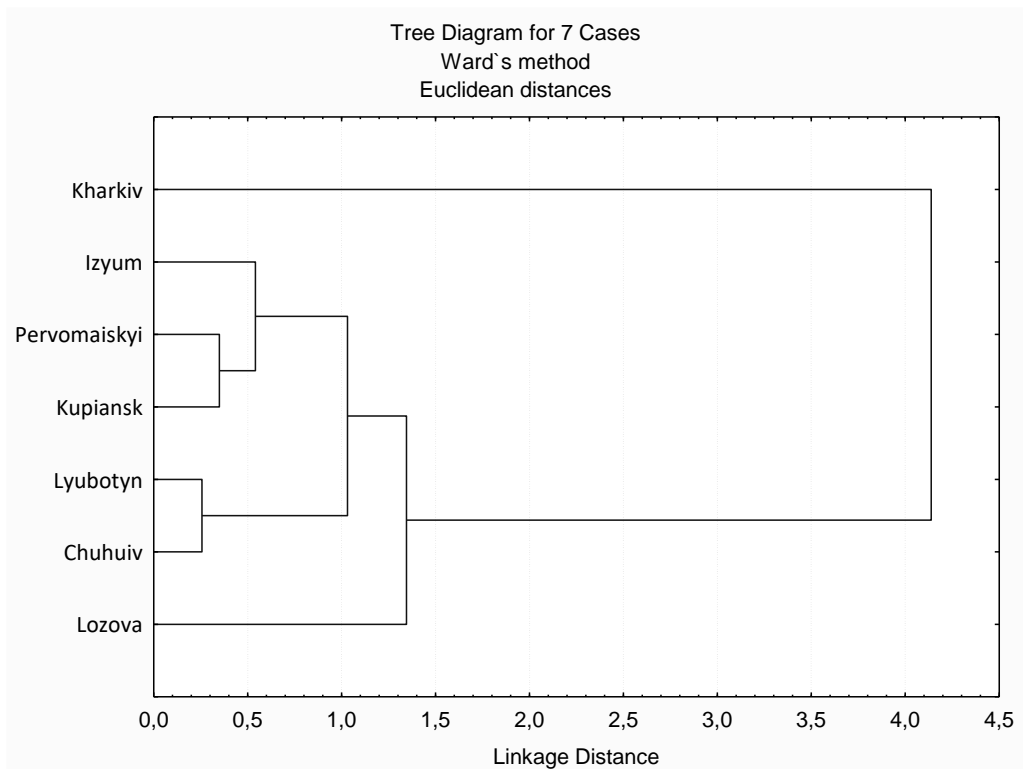


Fig. 12. Tree diagram of the towns clustering in Kharkiv region in terms of innovation and investment activity in 2015
(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

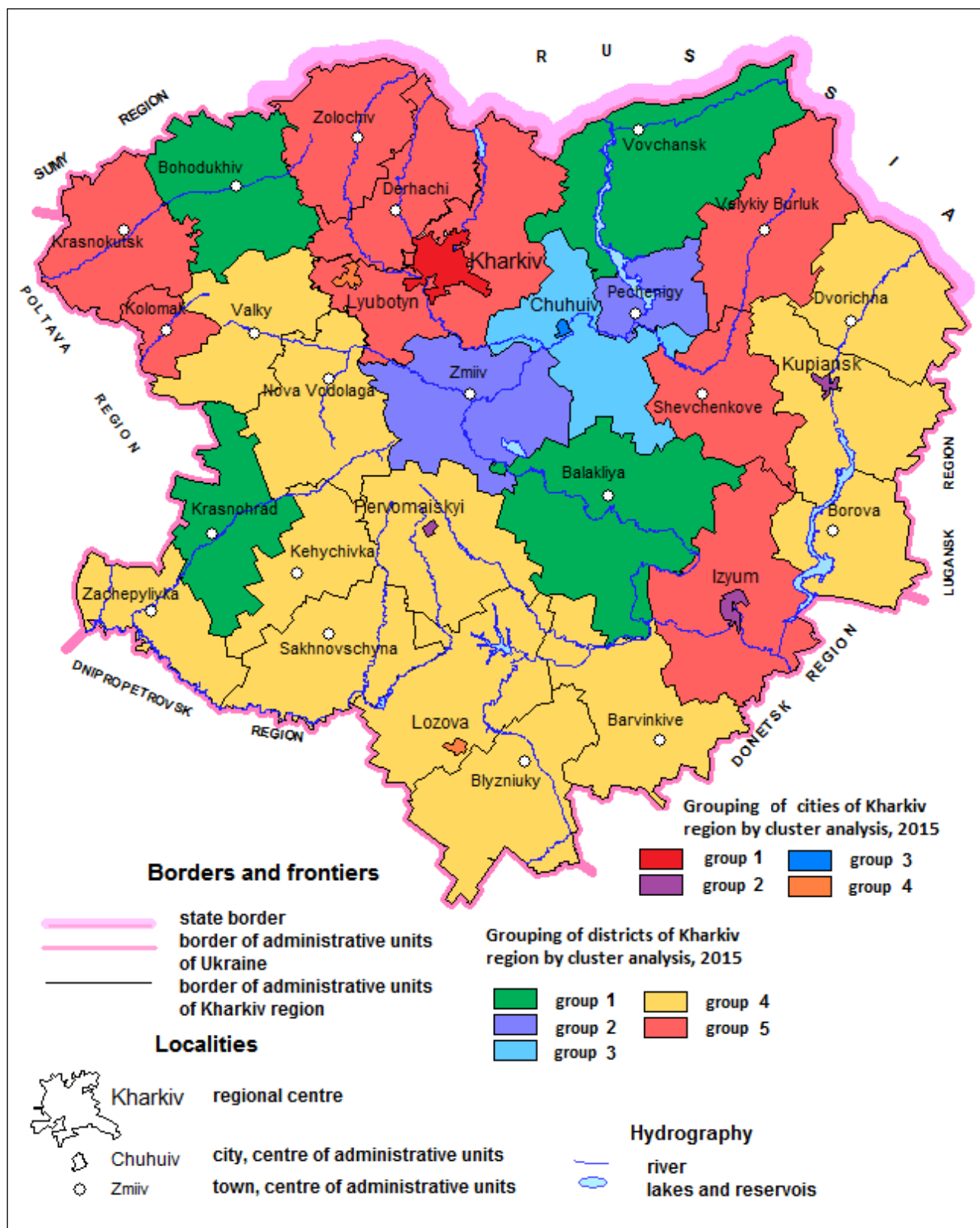


Fig. 13. Grouping of towns and districts of Kharkiv region by similar innovation and investment activities in 2015

(Source: Department of Statistics in the Kharkiv region; Niemets, Sehida, 2017)

similar innovation and investment activity, to define the territorial distribution of innovation and investment potential of the region, which helps to identify problems and outline prospects for further use of its available resources. Analysis of settlement and socio-

economic factors has shown that there is no obstacle for the development of innovation and investment activities in the region.

Conclusions. Present-day positioning of Kharkiv region and the city of Kharkiv as a "smart

region" defined as a modern, social city, a city of arts, research, tourist city, stipulates achievement of strategic development objectives, the key ones among them being creation of innovation active business, information and creative, scientific-educational city of the knowledge economy, development of innovation and investment activities in the region, transformation of Kharkiv into a Ukraine's leading innovation and investment center. The main factors of becoming a "smart economy" are innovation and research activities, development of science and education, expanding the scope of IT-technologies and intensive use of intellectual potential, investment in human capital, increase in the share of high-tech sector in the structure of social production, growth of value added share in the output created by the intellectual component, changes in the nature of human labor for creative and intellectual activity, etc.

Innovation and investment potential of Kharkiv region can be considered as a factor of "smart region transformation". The authors have determined the features of its formation and use in terms of a "smart-region" as well as the place of innovation and investment potential of Kharkiv region in national scale, factors identifying its formation in the region and territorial characteristics. The results of all the regions of Ukraine's ranking on selected statistical indicators of innovation and investment have shown that Kharkiv region occupies 2nd place in Ukraine by a combined indicator of formation and use of innovation and investment potential, second only to the city of Kyiv. Based on the factor analysis the formation and use of innovation and investment potential of Kharkiv region have been explained, factors affecting it have been analysed, administrative units in the

region have been ranked for all sample indexes. It has been found out that the formation and use of innovation and investment potential of Kharkiv region are mostly influenced by four factors: social-economic, resettlement, residential and commercial, social-demographic. Factors values have also been calculated in terms of towns and districts of Kharkiv region.

Based on the cluster analysis, towns and districts of Kharkiv region have been grouped according to similarity in the key indicators of innovation and investment potential. It has been found out that Kharkiv region is characterized by a considerable territorial differentiation in the formation and use of innovation and investment potential of its administrative units, which is primarily due to the specific socio-economic development. The undisputed leader is the city of Kharkiv and Kharkivskiy and Derhachivskiy districts that have the highest investment attractiveness and innovative activity, and, in general, the most innovation and investment potential. Due to their favorable economic and geographical situation (proximity to Kharkiv), these areas by many indicators of economic and social development are ahead of all other areas of the region. Clustering allowed grouping the towns and districts of Kharkiv region by the similarity of their innovation and investment activity, to define the peculiarities of the territorial distribution of innovation and investment potential in the region, which helps identify problems and outline prospects for further use of its available resources.

The economic potential of the region, which includes natural and labour resources, innovation and investment potential is the basis for the territorial development, including its competitiveness, investment attractiveness, innovative activity, etc.

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

References

1. Близоруков М. Г. Статистические методы анализа рынка: учебно-методическое пособие / М. Г. Близоруков. – Екатеринбург : Ин-т управления и предпринимательства Урал. гос. ун-та, 2008. – 75 с.
2. Буреева Н. Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA» : учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики» / Н. Н. Буреева. – Нижний Новгород, 2007. – 112 с.
3. Данилишин Б. М. Інвестиційна політика в Україні: Монографія / Б. М. Данилишин, М. Х. Корецький, О. І. Дачій – Донецьк : Юго-Восток, ЛТД, 2006. – 292 с.
4. Жавжарова Т. Как Smart Харьков привлекает туристов и инвесторов [Электронный ресурс] / Т. Жавжарова // Delo.ua. – 21 жовтня 2016 р. – Режим доступу: <https://delo.ua/ukraine/kak-smart-harkov-privlekaet-turistovi-investorov-324084/>
5. Інноваційно-інвестиційний потенціал як основа конкурентоспроможності регіону (на прикладі Харківської області) : колективна монографія / За заг. ред. Л. М. Немець, К. Ю. Сегіди. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 520 с.
6. Мезенцев К. В. Регіональне прогнозування соціально-економічного розвитку : навчальний посібник / К. В. Мезенцев. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2004. – 82 с.
7. Міста та райони Харківської області в 2015 році (статистичний щорічник) / За ред. О. Г. Мамонтової; Головне управління статистики у Харківській області. – Харків, 2016. – 334 с.
8. Національна парадигма сталого розвитку України / за заг. ред. академіка НАН України, д.т.н., проф., засл. діяча науки і техніки України Б. Є. Патона. – К.: Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2012. – 72 с.

9. Немець Л. М. Медична галузь Харківської області: територіальні особливості, проблеми та шляхи вдосконалення (суспільно-географічні аспекти) : монографія / Л. М. Немець, Г. А. Баркова, К. А. Немець. – К. : Четверта хвиля, 2009. – 224 с.
10. Стратегія розвитку міста Харкова до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.city.kharkov.ua/assets/files/docs/zakon/strategy2411.pdf>
11. Федотова Ю. В. Теоретичні засади реалізації принципів смарт-економіки шляхом формування високотехнологічних кластерів [Електронний ресурс] / Ю. В. Федотова // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2015. – Вип. 4. – С. 31-35. – Режим доступу : <http://www.global-national.in.ua/archive/4-2015/07.pdf>
12. Харківська область у 2015 році (статистичний щорічник) / За ред. О. Г. Мамонтової; Головне управління статистики у Харківській області. – Харків, 2016. – 534 с.
13. Benedek J. Amenajarea teritoriului și dezvoltare regională / J. Benedek. – Cluj-Napoca: Presa Universitară Clujeană, 2004.
14. Bennenworth P. The new economic geography of old industrial regions: universities as global-local pipeline / P. Bennenworth, G-J. Hospers // Environment and Planning. C: Government and Policy. – 2007. – Is. 25 (6). – P. 779–802.
15. Cattell R. B. The scree test for the number of factors / R. B. Cattell // Multivariate Behavioral Research. – 1966. – Vol. 1. – Is. 2. – P. 245-276.
16. Cocean P. Geografie regională / P. Cocean. – Cluj-Napoca : Presa Universitară Clujeană, 2005.
17. Grice J. W. Computing and evaluating factor scores / J. W. Grice // Psychological Methods. – 2001. – Vol. 6 (4). – P. 430-450.
18. Hollands R. G. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? / R. G. Hollands // City. – 2008. – Vol. 12. – Is. 3. – P. 303-320.
19. Horn J. L. A rationale and test for the number of factors in factor analysis / J. L. Horn // Psychometrika. – 1965. – Vol. 30. – P. 179-185.
20. Kaiser H. F. The application of electronic computer to factor analysis / H. F. Kaiser // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – Vol. 20. – P. 141-151.
21. Kaivo-Oja J. Smart specialization strategy and its operationalization in the regional policy: case Finland / J. Kaivo-Oja, S. Vähäsantanen, A. Karppinen, T. Haukioja // Business, Management and Education. – 2017. – Is. 15 (1). – P. 28-41.
22. Krueger R. «Third wave» sustainability? Smart growth and regional development in the USA / R. Krueger, D. Gibbs // Regional Studies. – 2008. – Vol. 42. – Is. 9. – P. 1263-1274.
23. Kylili A. European smart cities: The role of zero energy buildings / A. Kylili, P. A. Fokaides // Sustainable Cities and Society. – 2015. – Vol. 15. – P. 86-95.
24. Niemets L. Demographic potential as the basis for social and economic development / L. Niemets, K. Sehida, N. Husieva // Економічний часопис – XXI : науковий журнал. – 2015. – № 3-4 (1). – С. 93-96.
25. Pastor D. A. Cluster Analysis / D. A. Pastor // The Reviewer's Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences / G. R. Hancock, R. O. Mueller (eds.). – Routledge, 2010. – P. 41-54.
26. Rodríguez-Pose A. Research and development, spillovers, innovation systems, and the genesis of regional growth in Europe / A. Rodríguez-Pose, R. Crescenzi // Regional studies. – 2008. – Is. 42 (1). – P. 51-67.
27. Quatraro F. The Diffusion of Regional Innovation Capabilities: Evidence from Italian Patent Data / F. Quatraro // Regional Studies. – 2009. – Vol. 43. – P. 1333-1348.
28. Ström P. Dynamic regional competitiveness in the creative economy: can peripheral communities have a place? / P. Ström, R. Nelson // The Service Industry Journal. – 2010. – Vol. 30 (4). – P. 497-511.
29. Yeung H. W.-C. Regional Development and the Competitive Dynamic Production Network: An East Asia Perspective / H. W.-C. Yeung // Regional Studies. – 2009. – Vol. 43 (3). – P. 325-351.

UDC 332.146:330.341.1:330.322(477.54)

Liudmyla Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: soc-econom-region@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Kostyantyn Mezentsev,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the of the Department of Human Geography, Faculty of Geography,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: mez@univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>;

Kateryna Sehida,

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: kateryna.sehida@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Cezar Morar,

PhD (Geography), Assistant Professor, Department of Geography, Tourism and Territorial Planning,
Faculty of Geography, Tourism and Sport, University of Oradea,
1 University St., C., Hall Office 221, Oradea, 410087, Romania,
e-mail: cezarmorar@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0211-5883>;

Nataliia Husieva,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: gusewa3110@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3620-1213>;

Vilina Peresadko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Dean of the Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,
V. N. Karazin Kharkiv University, Ukraine,
e-mail: geo@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

Ievgeniia Telebienieva,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: telebenevaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7013-8836>

**INNOVATION AND INVESTMENT POTENTIAL OF REGION AS A FACTOR OF ITS
"SMART TRANSFORMATION" A CASE STUDY OF KHARKIV REGION (UKRAINE)**

Formulation of the problem. Kharkiv region has recently been increasingly positioned as a "smart region" and Kharkiv as a "smart city". Moreover, the emergence of "smart economy" and the availability of people with jobs is one of the strategic objectives for the city development by 2020. The formation of Kharkiv region as an "intelligent region" with "smart economy" implies, among other objectives, a comprehensive development of innovation and investment activities in the region, its transformation into a Ukraine's leading innovation and investment center. A mandatory condition of the region's progressive socio-economic development is the economy of innovation type, which is impossible without investment.

The purpose of the article is to analyze the innovation and investment potential of Kharkiv region as a factor of its smart transformation, to identify the features of its formation and use in the aspect of the formation of Kharkiv region as a "smart-region".

Results. In this paper positioning of Kharkiv region and the city of Kharkiv as a smart region has been defined. The key goals and objectives of development towards a "smart economy", as well as basic factors of becoming "intelligent (smart) economy" are given. The authors analyze innovation and investment potential of Kharkiv region as a factor of its smart transformation; reveal the features of its formation and use in terms of Kharkiv region's formation as a "smart-region".

The place of Kharkiv region in the national dimension was determined according to individual indicators of innovation and investment activity and, in general, according to the innovation and investment potential with the help of the mathematical and statistical analysis. In particular, it is noted that Kharkiv region occupies the 2nd place in Ukraine in terms of the integral indicator of the formation and use of innovation and investment potential yielding only to Kyiv. According to the results of factor analysis, the factors of formation and use of innovation and investment potential of the Kharkiv region (socio-economic, resettlement, housing and trade and socio-demographic), their content (factor loadings) and intraregional peculiarities of influence (factor scales) were substantiated. Using a cluster analysis (Ward's method, Euclidean distance), grouping of cities and districts of Kharkiv region was conducted based on the similarity of their innovation and investment activities (4 groups of cities and 5 groups of districts were identified). The results of cluster analysis made it possible to conclude that Kharkiv region is characterized by considerable territorial differentiation of the peculiarities of the formation and use of the innovation and investment potential of its administrative and territorial units, which is primarily due to the specifics of their socio-economic development. The undisputed leaders are the city of Kharkiv and Kharkivsky and Dergachivsky counties, which are characterized by the highest investment attractiveness and innovative activity, and in general, the largest innovation and investment potential.

Thus, clustering allowed defining the features of innovation and investment potential in territorial distribution of the region, identifying problems and outline prospects for further use of the region's available resources.

Keywords: smart economy, smart transformation, innovation and investment potential, Kharkiv, Ukraine.

References

1. Blizorukov, M. G. (2008). *Statistical methods for analysis of the market*, Ekaterinburg, Institute of Management and Entrepreneurship, Ural State University, 75. [in Russian]
2. Bureeva, N. N. (2007). *Multivariate statistical analysis using «STATISTICA»*, Nizhny Novgorod, 112. [in Russian]
3. Danylyshyn, B. M., Koretsky, M. Kh., Datsiy, O. I. (2006): *Investment Policy in Ukraine*, Donetsk, 292. [in Ukrainian]
4. Zhavzharova, T. (2016). *How Smart Kharkiv attracts tourists and investors Delo.ua*, 21th of October. <https://delo.ua/ukraine/kak-smart-harkov-privlekaet-turistov-i-investorov-324084/> [in Russian]
5. Niemets, L., Sehida, K. (Eds) (2017). *The innovative-investment potential as the regional competitiveness base (a case study of Kharkiv region)*. Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 520. [in Ukrainian]
6. Mezentsev, K. V. (2004). *Regional forecasting of social and economic development*, Kyiv, Kyiv University, 82. [in Ukrainian]
7. *Cities and districts of Kharkiv region in 2015: Statistical Yearbook (2016)*. Kharkiv, Department of Statistics in the Kharkiv region, 334. [in Ukrainian]
8. Paton, B. E. (ed.) (2012). *National Paradigm of Sustainable Development of Ukraine*, Kyiv, State Institution «Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», 72. [in Ukrainian]
9. Niemets, L. M. et al. (2009). *Medical industry of Kharkiv region: territorial characteristics, problems and ways to improve (social and geographic aspects)*, Kyiv, Fourth Wave, 224. [in Ukrainian]
10. *Development strategies of Kharkiv until 2020 (2016)*. Kharkiv. Available at: <http://www.city.kharkov.ua/assets/files/docs/zakon/strategy2411.pdf> [in Ukrainian]
11. Fedotova, Yu. V. (2015). *Theoretical basis of implementing the principles of smart economy by creating high-tech clusters*, *Global and national economic problems*, 4, 31-35. [in Ukrainian]
12. *Kharkiv region in 2015: (Statistical Yearbook (2016))*. Kharkiv: Department of Statistics in the Kharkov region, Kharkiv, 534. [in Ukrainian]
13. Benedek, J. (2004). *Amenajarea teritoriului și dezvoltare regională*, Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca.
14. Benneworth, P., Hospers, G-J. (2007). *The new economic geography of old industrial regions: universities as global-local pipeline*, *Environment and Planning C: Government and Policy*, 25 (6), 779–802.
15. Cattell, R. B. (1966). *The scree test for the number of factors*. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276.
16. Cocean, P. (2005). *Geografie regională*, Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca.
17. Grice, J. W. (2001). *Computing and evaluating factor scores*. *Psychological Methods*, 6, 430-450.
18. Hollands, Robert G. (2008). *Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?* *City*, 12:3, 303-320.
19. Horn, J. L. (1965). *A rationale and test for the number of factors in factor analysis*. *Psychometrika*, 30, 179-185.
20. Kaiser, H. F. (1960). *The application of electronic computer to factor analysis*. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.
21. Kaivo-Oja, J., Vähäsantanen, S., Karppinen, A., Haukioja, T. (2017). *Smart specialization strategy and its operationalization in the regional policy: case Finland*, *Business, Management and Education*, 15 (1), 28-41.
22. Krueger, R., Gibbs, D. (2008). *«Third wave» sustainability? Smart growth and regional development in the USA*, *Regional Studies*, 42, 9, 1263-1274.
23. Kylili, A., Fokaides, P.A. (2015, July). *European smart cities: The role of zero energy buildings*, *Sustainable Cities and Society*, 15, 86-95.
24. Niemets, L., Sehida, K., Husieva, N. (2015). *Demographic potential as the basis for social and economic development*, *Economic Journal – XXI*, Kyiv, 3-4 (1), 93-95.
25. Pastor, Dena A. (2010). *Cluster Analysis*. In: *The Reviewer's Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences*. Gregory R. Hancock, Ralph O. Mueller (eds.). Routledge, 41-54.
26. Rodríguez-Pose, A., Crescenzi, R. (2008). *Research and development, spillovers, innovation systems, and the genesis of regional growth in Europe*, *Regional studies*, 42 (1), 51-67.
27. Quatraro, F. (2009). *The Diffusion of Regional Innovation Capabilities: Evidence from Italian Patent Data*, *Regional Studies*, 43, 1333-1348.
28. Ström, P., Nelson, R. (2010). *Dynamic regional competitiveness in the creative economy: can peripheral communities have a place?* *The Service Industry Journal*, 30 (4), 497-511.
29. Yeung, H. W.-C. (2009). *Regional Development and the Competitive Dynamic production Network: An East Asia Perspective*, *Regional Studies*, 43 (3), 325-351.

UDC 551.524.3

Svitlana Ivanivna Reshetchenko,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: swet_res@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

Valentina Hrygoryvna Klymenko,

Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: valent.klimenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

Nadyia Ivanivna Cherkashyna,

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: n.cherka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

Borys Sergiyovich Buznytskyi,

Bachelor (Geography), V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: b.buznytskyi@physgeo.com, <https://orcid.org/0000-0002-4078-5485>

IDENTIFICATION OF SOLAR RADIATION EFFECT ON CLIMATIC INDICATORS OF THE TERRITORY OF UKRAINE

С. І. Решетченко, В. Г. Клименко, Н. І. Черкашина, Б. С. Бузницький. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА КЛІМАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ. Наводяться результати статистичного аналізу впливу сонячної радіації на показники температури повітря та атмосферного тиску на території України впродовж року та сезонів за період 1965-2015 рр. Враховуючи, що кліматичні зміни та їх наслідки охоплюють всі компоненти кліматичної системи, сьогодні постає проблема у подальшому їх вивченні з метою поглиблення розуміння атмосферних процесів, які моделюють погодні умови на різних за властивостями територіях. Серед природних джерел впливу на просторово-часові зміни температури повітря на Землі увагу привертає сонячна активність, адже вона характеризує кількість тепла, що надходить на поверхню Землі, та визначає можливості процесів теплообміну між складовими кліматичної системи.

За допомогою методу статистичного кореляційного аналізу отримані коефіцієнти кореляції, що характеризують мілнливність показників сонячної радіації, температури повітря та атмосферного тиску на досліджуваній території. Дана методика дозволяє оцінити ступінь та характер впливу сонячної радіації на регіональний температурний режим та розподіл атмосферного тиску. Теплофізичні властивості підстильної поверхні даної території визначають процеси теплообміну. Температура повітря виступає як опосередкований показник, оскільки сонячна енергія, в першу чергу, перетворюється в теплову підстильної поверхні. Встановлено, що прямий кореляційний зв'язок між показниками сонячної радіації є характерним для полів температури повітря та атмосферного тиску. Статистично значима залежність між надходженням сонячної радіації на територію України та атмосферним тиском прослідковується у весняно-осінній період переважно на більшості станцій. Між сонячною радіацією та температурою повітря обернений кореляційний зв'язок спостерігається взимку, перетворюючись на прямий у весняно-літній період.

Ключові слова: сонячна радіація, сонячна активність, температурний режим, температура повітря, атмосферний тиск, коефіцієнт кореляції, зміна клімату, регіональна температура.

С. И. Решетченко, В. Г. Клименко, Н. И. Черкашина, Б. С. Бузницький. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ. Приводятся результаты статистического анализа влияния солнечной радиации на показатели температуры воздуха и атмосферного давления на территории Украины в течение года и сезонов за период 1965-2015 гг. Учитывая, что климатические изменения и их последствия охватывают все компоненты климатической системы, сегодня возникает проблема дальнейшего их изучения с целью расширения понимания атмосферных процессов, которые моделируют погодные условия на разных территориях в зависимости от свойств. Среди природных источников влияния на пространственно-временные изменения температуры воздуха Земли необходимо уделять внимание солнечной активности, которая определяет количество тепла и процессы теплообмена между составляющими климатической системы.

С помощью метода статистического корреляционного анализа получены коэффициенты корреляции, которые характеризуют изменчивость показателей солнечной радиации, температуры воздуха и атмосферного давления на исследуемой территории. Данная методика позволяет оценить степень и характер влияния солнечной радиации на региональный температурный режим и распределение атмосферного давления. Теплофизические свойства подстилающей поверхности данной территории определяют процессы теплообмена. Температура воздуха выступает как опосредствованный показатель, поскольку солнечная энергия, в первую очередь, преобразуется в тепловую подстилающей поверхности. Определено, что существует прямая корреляционная связь между показателями солнечной радиации и атмосферным давлением. Статистически значимая зависимость между поступлением солнечной радиации на территорию Украины и атмосферным давлением просматривается в весенне-осенний период преимущественно на большей части станций. Между солнечной радиацией и температурой воздуха наблюдается обратная корреляционная связь наблюдается зимой, в весенне-летний период она преобразуется в прямую.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнечная активность, температурный режим, температура воздуха, атмосферное давление, коэффициент корреляции, изменения климата, региональная температура.

Formulation of the problem. Considering the fact that solar radiation is the main source of energy for most biochemical and physical processes on Earth, further studies of its spatial and temporal

changes make it possible to see the peculiarities of the climate-forming properties of the underlying surface, which is the main link that absorbs and converts solar energy, acting as an indirect factor of variable climatic conditions. Consequently, solar radiation determines the radiation and temperature regimes of the territory, generating fluctuations in atmospheric circulation, which in turn, involves various abnormal weather events: typhoons, showers, hurricanes, etc.

Spatial changes, occurring in the constituent parts of the radiation regime of the territory, are used to solve applied problems: for calculations in the urban economy, solar energy, construction, agriculture. In addition, the problem of energy supply, especially its alternative types, is becoming increasingly important today.

Climatic conditions of any territory is a natural factor that determines socio-economic conditions of the society. According to studies [7], it has been found that over the period 1860-1990 the average surface air temperature on the planet increased by 0.55°C. According to the results of the International Commission on Climate Change report, each of the last three decades had a higher surface temperature than any previous decade since 1850.

Lately, both natural, and anthropogenic factors have been among the reasons that contribute to an increase in the surface air temperature. Solar radiation, as a natural factor, has a particular influence on spatial and temporal changes in the air temperature on Earth, since it characterizes the amount of heat entering the Earth's surface and determines the possibilities of different heat transferring processes between the components of the climatic system.

Analysis of recent research and publications.

Modern climatological studies [1-16] indicate a link between cycles of solar activity and climate. The cyclicity of solar activity is generated by the combination of physical changes occurring on the surface of the Sun.

The results of the study [21] denote influence of solar activity on the temperature regime length in the Arctic, namely Spitsbergen Archipelago. Using the cross-correlation method, a relationship between the time series of the solar cycle duration and the maximum number of spots has been found. The established connections may have different meanings in different regions of the planet. Thus, it has been determined that stations located in the North Atlantic have a greater correlation between the duration of the solar cycle and the air temperature during the next cycle than those located on the coast and in the middle of the land with a correlation coefficient r ranging from 0, 79 to 0.86.

A high degree of correlation between the Wolf's numbers and the air temperature in the northern Phenocandia is given in [17], which proves the regional

effect of the solar activity influence on age-related variations of the average annual temperature, and confirms the study [28] on the existence of the Gleisberg cycle.

Arctic ice is also an important source of information on outbreaks of sunlight, supernova explosions and climatic effects. Frequency and amplitude of solar-explosive protons are determined by the concentration of nitrates in the dated layers of polar ice. The amplitude-time characteristics of supernovae explosions are determined by measuring the time course of cosmic isotopes ^{14}C , ^{10}Be and ^{36}Cl concentrations in dated independent samples of polar ice. These isotopes are formed in nuclear reactions in the Earth's atmosphere under the action of galactic cosmic rays, the source of which are supernova explosions. These isotopes are also generated under the action of gamma quanta of cosmic nature [21].

The main quantitative characteristics of solar activity is the index of the Wolf's number. Time variations in the number of sunspots are characterized by periods of maxima, minima, described by a complex quasiperiodic function. The cycle manifests in periodic reduplication of the sunspots number. A direct relationship was found by satellite monitoring of solar activity between the Schwabe cycle (eleven-year cycle) and luminosity with the amplitude from peak to peak of about 0.1% [9].

The reasons for the occurrence of cyclic laws can be modeled by a variety of factors, ranging from intra-solar to the entire solar system. Variations in the number of the observed sunspots may be determined by relative arrangement of Earth and Sun in the solar system relative to its barycentre and location in space [10, 30].

Research, calculations, and numerical simulations of the two kinematic indicators (the kinematic index of the heliocentric longitude of the planetary system and the planet connection index with a period of 11.5 years and 19.8 years, respectively) indicate that the solar system has two variations of the orbital motion trajectory : an orderly and a chaotic with a period of 49.9 and 129.6 years, respectively [30]. Two ordered orbits or two chaotic ones change with a period of 179.5 years. Periods of active solar radiation correspond to the ordered orbit, while periods of low solar radiation– to the chaotic one, therefore relative movement within the solar system affects the solar activity. In the study, large minima in the history of solar activity are associated with the phase of the solar system's chaotic orbit. The sun provides a number of different energy components that directly affect the Earth's magnetosphere. In particular, variability of the magnetic field is a source for processes that affect geomagnetism and the upper part of the Earth's atmosphere. Thus, the next stage of the study is to detect

solar radiation influence on the formation of climatic conditions on the territory of Ukraine.

Emphasis on previously unsolved parts of the general problem. Physical mechanisms of solar radiation influence on the planet's atmosphere are complex. Existing mathematical models can hardly consider multivector physical processes occurring in the atmosphere. The conducted research consists in expanding theoretical and practical knowledge about interconnections between indicators of solar radiation and climatic values on the territory of Ukraine. The obtained results can be used in further study and forecasting of temperature variations dynamics of any territory.

Formulation of the purpose. The purpose of the work is to establish the relationship between solar radiation indicators and climate on the territory of Ukraine for the period 1965-2015 and spatial features of their distribution. As the initial information, the time series of the average monthly air temperature were used at 39 meteorological stations in Ukraine for the period 1965-2015, atmospheric pressure at the station level (period 1976-2015), the incoming amount of solar radiation (total, scattered and direct to the horizontal surface) at 12 meteorological

stations (period 1965-2015) from the sources of the Central Geophysical Observatory, time series of the Wolf's numbers for the period 1700-2015 (according to the site <http://sidc.be/silso/datafiles>). The statistical analysis of the actual material, maps drawing was carried out using the software components of "Microsoft Excel", "Statistica", "ArcGIS".

Presentation of the main research material.

The main method of statistical analysis of the study is the correlation method, which allows us to obtain coefficients of correlation variability of solar radiation parameters, air temperature and atmospheric pressure on the investigated area. This technique allows to estimate the degree and nature of solar radiation influence on the temperature regime of the territory and distribution of atmospheric pressure. At first, the climatological series were tested for statistical homogeneity and their correspondence to the normal distribution law, which determined the average value, dispersion (σ^2) and the mean square deviation (σ).

Statistical analysis of the solar radiation indices, using annual values of the number of sunspots (the Wolf's numbers) for the period 1700-2015 and the carried out averaging indicates the existence of solar cycles in 11, 22 and 90 years (Fig. 1).

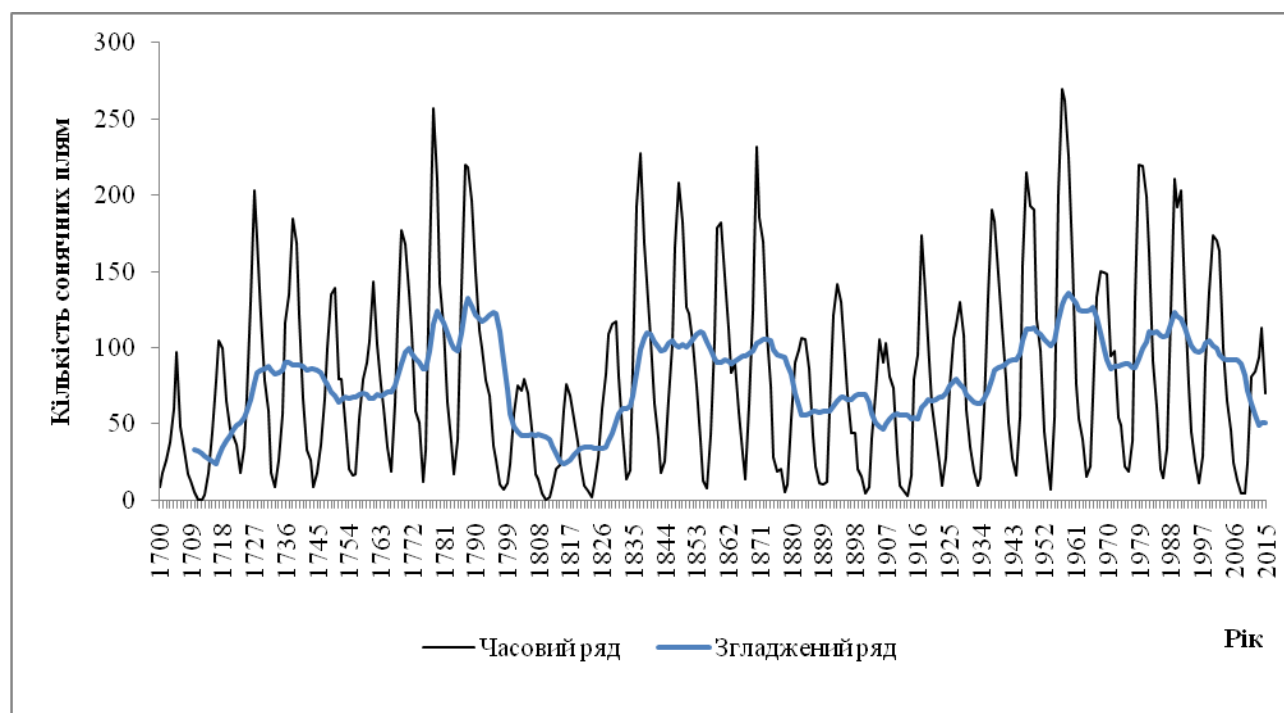


Fig. 1. Changes in the average annual number of sunspots in the period 1700-2015

Using Statistica software environment, seasonal correlation coefficients between solar radiation indices, air temperature and atmospheric pressure at meteorological stations of Ukraine have been calculated (Table 1).

The correlation degree between the random variables of solar radiation (X) and atmospheric pressure (Y) is the correlation coefficient. At the value of

$r_{xy}=0$, there is no linear correlation relationship, that is, the values of X and Y are uncorrelated. If, at the meaning of $0 < r_{xy} < 1$ the relationship between the values is direct, with values from $-1 < r_{xy} < 0$ is inverse. Using the Student's criterion, statistical

significance of the correlation coefficient has been determined at the level of significance $\alpha = 5\%$

Statistically significant dependence between the inflow of solar radiation on the territory of Ukraine and atmospheric pressure is observed in the spring-autumn period ($0,3 \leq r \leq 0,7$) mainly at most stations. Inverse correlation between indicators of solar radiation and air temperature is observed in winter ($0,7 \leq r \leq 0,4$), turning into direct one in the spring-summer period. Given the fact that the relationship between random variables is greater, provided that

the correlation coefficient is greater than the absolute value, let us note the maximum effect of solar radiation on the temperature regime of the territory in summer. The lowest indicators of the correlation coefficient are observed in autumn, which may be caused by different characteristics of the underlying surface, prevailing influence of circulation factors on the territory of Ukraine.

Correlation dependence between random values in summer was analysed on the example of the Odessa station (Fig. 2).

Table 1

Correlation between solar radiation (Q), atmospheric pressure (P) and air temperature (T) for seasons (W - winter, Sp -spring, S -summer, A - autumn)

| Meteorological station | QPW | QPSp | QPS | QPA | QTW | QTSp | QTS | QTA |
|---------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Askania Nova | 0,151 | 0,653 | 0,205 | 0,215 | -0,250 | 0,075 | 0,052 | 0,154 |
| Beregove | -0,142 | 0,107 | 0,237 | 0,407 | -0,499 | 0,230 | 0,103 | 0,064 |
| Bolgrade | 0,190 | 0,327 | 0,359 | 0,313 | -0,122 | 0,606 | 0,257 | -0,106 |
| Boryspil | -0,064 | 0,355 | 0,252 | 0,554 | -0,673 | 0,096 | 0,272 | -0,096 |
| Karadag | 0,248 | -0,317 | -0,272 | 0,017 | -0,498 | 0,315 | 0,354 | 0,244 |
| Kovel | -0,046 | 0,352 | 0,527 | 0,422 | -0,657 | 0,395 | 0,764 | 0,286 |
| Konotop | 0,226 | -0,089 | 0,349 | 0,456 | -0,434 | 0,337 | 0,641 | 0,112 |
| Mizhhirria | 0,296 | 0,489 | 0,463 | 0,610 | -0,464 | 0,220 | 0,249 | -0,082 |
| Nikitsky Botanical Garden | 0,659 | 0,348 | 0,260 | 0,097 | -0,205 | 0,558 | 0,550 | 0,319 |
| Nova Ushytsia | 0,087 | 0,437 | 0,321 | 0,602 | -0,604 | 0,364 | 0,461 | 0,198 |
| Odesa | 0,342 | 0,338 | 0,406 | 0,161 | 0,106 | 0,667 | 0,576 | 0,210 |
| Poltava | 0,276 | 0,281 | 0,405 | 0,519 | -0,710 | 0,318 | 0,642 | 0,134 |

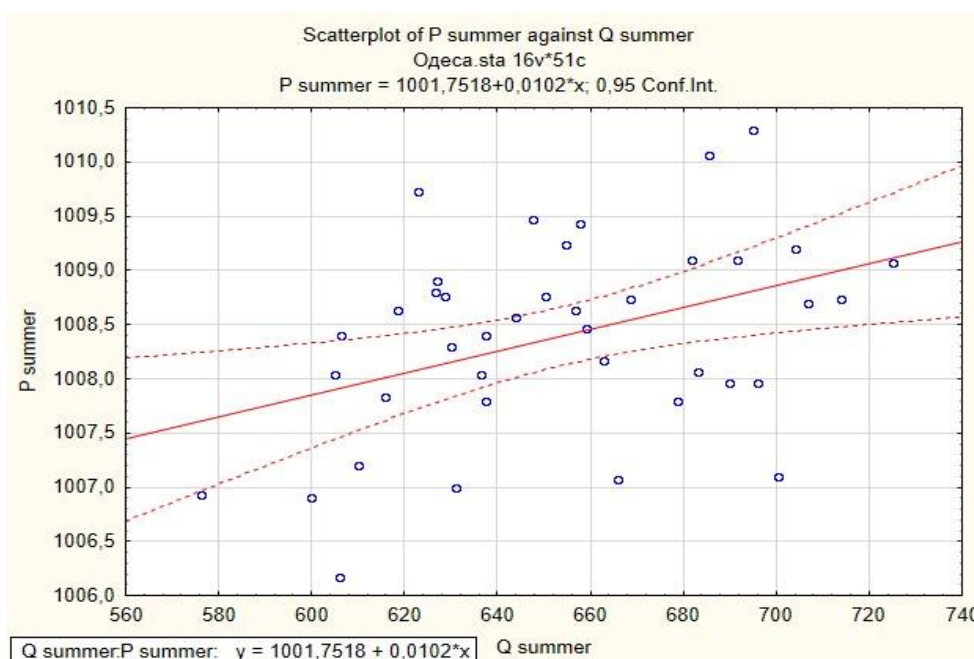


Fig. 2. Correlation field for atmospheric pressure and solar radiation (summer)

By the arrangement of points in Fig. 2 it is possible to draw conclusions about the form and density of the correlation connection. First, with increasing x random y increases, thus we have a direct connection between them. Secondly, the points on the correlation graph are located near a certain line, so we believe that the correlation connection is linear and the regression function has the form of a straight line equation. By the points spread on the correlation graph one can draw a preliminary conclusion about the density of the correlation connection: it is denser when the points are grouped around the regression line.

Analysis of the spatial distribution of the correlation coefficients between solar radiation and atmospheric pressure during the year indicates peculiar orographic conditions of the study area: negative correlation coefficients are observed in winter in the flat forms of relief and in the areas of high altitude, at elevations, they are positive (Fig. 3). In general, the indicators distribution is sub-latitudinal.

Isocorrelates with positive values shift to the north in spring but indicators with negative values increase in the northeast (to -0.4). In the west the values of the correlation coefficients increase and they cover a larger area relative to the winter period. Due to a gradual warming of the underlying surface in summer (Fig. 4), stabilization of atmospheric processes, distribution of correlation coefficients across the territory is almost homogeneous (from 0.2 to 0.5).

Distribution of indicators is more or less uniform in autumn, only a significant increase in the correlation coefficient is recorded within the mountain system of the Carpathians (up to 0.6), there is a gradual transition to winter.

In winter, spatial distribution of the correlation coefficients between solar radiation and air temperature is characterized by a reverse connection (-0.7) in the east and north of Ukraine, associated with an increase in albedo, cooling of the underlying surface.

Positive values of the correlation coefficients in the Black Sea water area indicate that the main source of warmth in this region is the warm sea. Distribution features of correlation indices in the mountainous regions of the Carpathians are due to the difference between the orographic structure and the structure of the underlying surface.

In spring, the inflow of solar energy is increasing, which is reflected in shifting of the connection values to the north of the Black Sea and prevalence of positive values. In summer, the highest values of the correlation coefficients between solar radiation and air temperature are observed almost throughout the territory of Ukraine due to the geographical latitude and the nature of the underlying surface. In autumn, connections between the studied indicators weaken, which is associated with a decrease in the amount of solar radiation and orographic features of the territory.

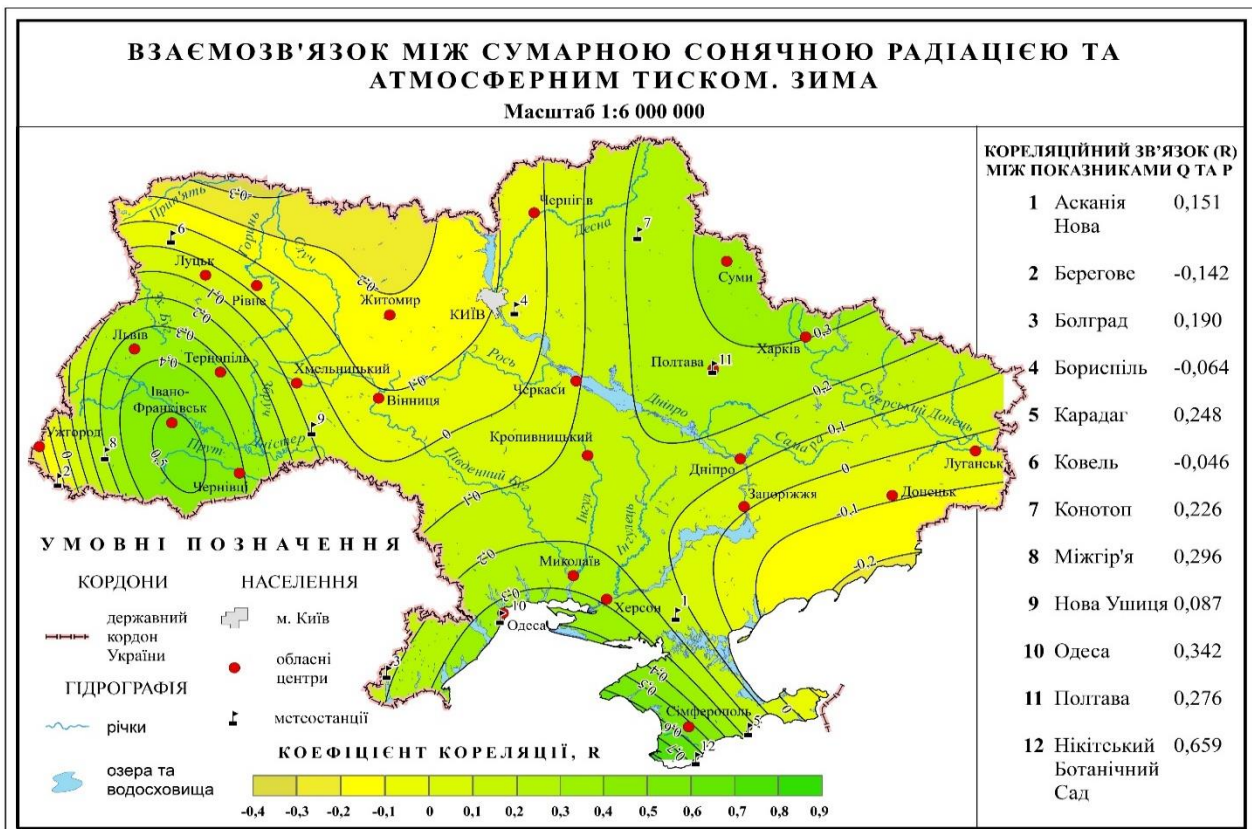


Fig. 3. Interconnection between total solar radiation and atmospheric pressure. Winter

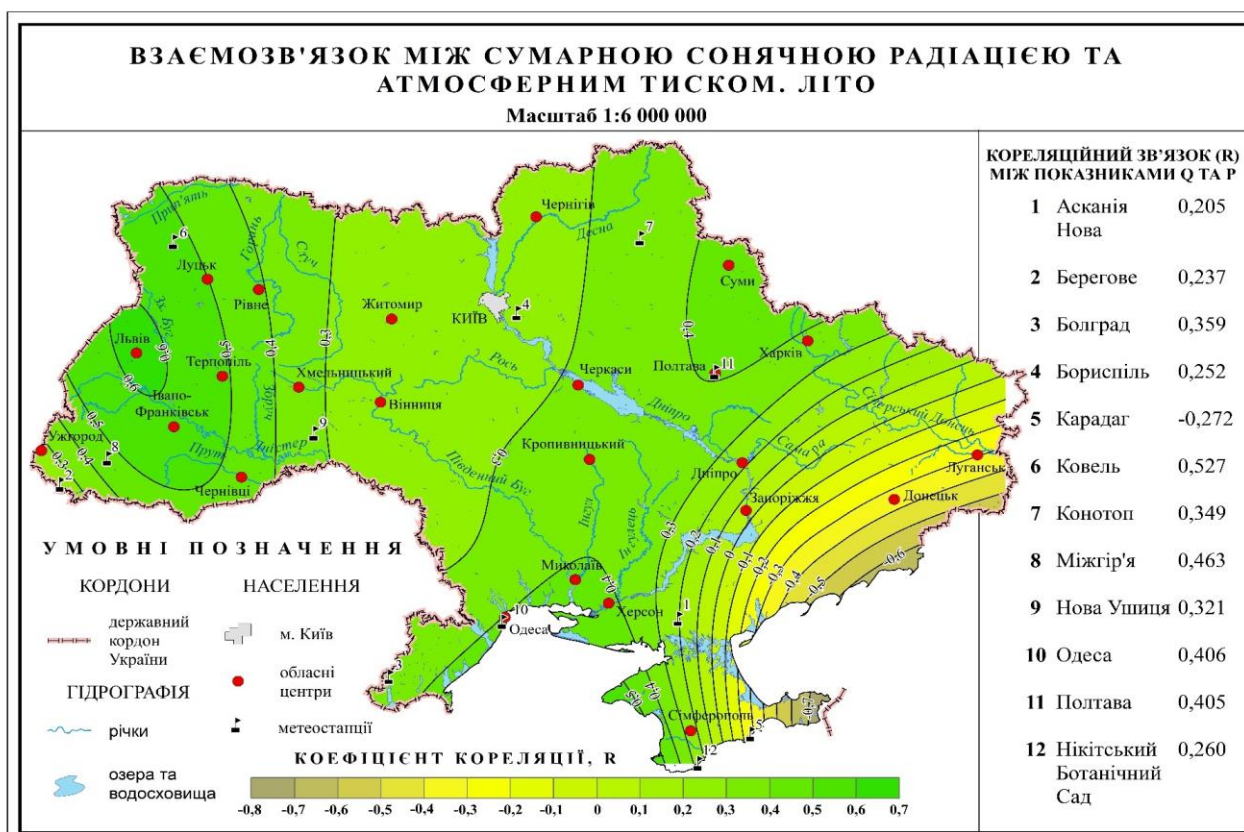


Fig. 4. Interconnection between total solar radiation and atmospheric pressure. Summer

Conclusions. Basic laws of solar activity fluctuations have been established during the study: the most significant are the Schwabe's 11-year cycles and the 22-year-olds. It has been determined that the main factors which influence on the amount of solar radiation, entering the underlying surface and forming the radiation, as well as temperature regimes of the territory can be: geographical latitude of the locality, altitude and nature of the underlying surface. Distribution of the main climatic indicators on the territory of

Ukraine corresponds to latitudinal laws where the regions of high altitude are distinguished.

Analysis of the density degree of the correlation between the random values of solar radiation, atmospheric pressure and air temperature indicates mainly linear direct relations, characterized by maximum values in summer. In spring and autumn periods interconnections between the investigated indicators break due to changes in the properties of the underlying surface and circulation factors.

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

References

1. Еремеев В.Н. Фрактально-волновые свойства межгодовых колебаний температуры воздуха региональных и глобальной климатических систем / В. Н. Еремеев, А. Н. Жуков, А. А. Сизов // *Геоинформатика*. – 2010. – № 4. – С. 77-84.
2. Жеребцов Г. А. Солнечная активность и динамические процессы в атмосфере и теплосодержании мирового океана / Г. А. Жеребцов, В. А. Коваленко, С. И. Молодых, и др. // *Солнечно-земная физика*. – Вып. 12, Т. 2. – 2008. – С. 268-271.
3. Калифарска Н. А. Связь изменений климата с геомагнитным полем. 3. Северное и Южное полушарие / Н. А. Калифарска, В. Г. Бахмутов, Г. В. Мельник // *Геофизический журнал*. – №3, Т. 38. – 2016. – С. 52-71.
4. Канатъев А. Г. Проявления циклов солнечной активности в атмосфере Северной Атлантики и Европы / А. Г. Канатъев, Е. А. Касаткина, О. И. Шумилов // *Метеорология и гидрология*. – Москва, 2006. – С. 55-59.
5. Корчемлюк М.В. Вплив геліофізичних факторів на метеорологічні умови Карпатського національного природного парку (КНПП) / М.В. Корчемлюк, Р.Л. Кравчинський, Б.Б. Савчук // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний розвиток науки нового тисячоліття»*. – Ужгород, 2017. – С. 152-155.
6. Кочаров Г.Е. Современные проблемы солнечной цикличности / Г. Е. Кочаров, М. Г. Огурицов // *Санкт-Петербург: Гл. астрон. обсерватория*, 1997. – С. 130-136.
7. IPCC. 2014. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Available at : <https://ipcc.ch/pdf>.

8. Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата / В. Ф. Чистяков // Сер. «Труды УАФО». – Вып. 1. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 156 с.
9. Beckman, John E. *The Maunder Minimum and Climate Change: Have Historical Records Aided Current Research?* / John E. Beckman, Terence J. Mahoney // *Library and Information Services in Astronomy III*. – Vol. 153. – Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife, Spain, 1998. – P. 212-217.
10. Charvátová, I. *Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion?* / I. Charvátová // *Annales Geophysicae*. – Vol. 18. – 2000. – P. 399-405.
11. Forster, P. Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., et al. *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing* / Edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller // *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 67 p.
12. Haigh, Joanna D. *The Impact of Solar Variability on Climate* / Joanna D. Haigh // *Science*. – Vol. 272. – 1996. P. 981-984.
13. Javaram, J. *The Solar Cycle* / J. Javaram, J. P. Rozelot, Luca Bertello // *Advances in Astronomy*. – Volume 2012. – 2012. – 2 p.
14. Kuznetsova, T. V. *Solar cycles in global temperatures* / T. V. Kuznetsova, L. B. Tsirolnik // *International Astronomical Union*. – 233(S233). – 2006. – P. 401-402.
15. Lean, Judith. *Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change* / Judith Lean, Juerg Beer, Raymond Bradley // *Geophysical research letter*. – Vol. 22, No. 23. – 1995. – P. 3195-3198.
16. Martin-Puertas, Celia. *Regional atmospheric circulation shifts induced by a grand solar minimum* / Celia Martin-Puertas, Katja Matthes, Achim Brauer, et al. // *Nature Geoscience*. – 5 (6). – 2012. – P. 397-401.
17. Ogurtsov, M. G. *Solar Activity and Regional Climate* / M. G. Ogurtsov, G. E. Kocharov, M. Lindholm, M. Eronen, Yu. A. Nagovitsyn // *Radiocarbon*. – Vol 43, No 2A (Part 1 of 3). – 2001. – P. 439-447.
18. Parker, D.E. *Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century* / D. E. Parker, P. D. Jones, C. K. Folland, et al. // *Geophys. Res.* – Vol. 99, No. D7. – 1994. – P. 14 373-14 399.
19. Seppälä, A. *Geomagnetic activity and polar surface level air temperature variability* / A. Seppälä, C. E. Randall, M. A. Clilverd, et al. [Edited by Franz-Josef Lübken] // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. – Vol. 114. – 2009. – 634 p.
20. Solanki, S. K. *Search for a relationship between solar cycle amplitude and length* / S. K. Solanki, N. A. Krivova, M. Schüssler, et al. // *Astronomy and Astrophysics*. – Vol. 396, No. 3. – 2002. – P. 1029-1035.
21. Solanki, S.K. *An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years.* / S. K. Solanki, I. G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler and J. Beer // *Nature*. – Vol. 431. – No. 7012. – 2004. – P. 1084-1087.
22. Solargis. *World solar resource maps* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу : <https://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world> (дата звернення 24.01.2018 р.).
23. Solheim, Jan-Erik. *Solar Activity and Svalbard Temperatures* / Jan-Erik Solheim, Kjell Stordahl, Ole Humlum // *Advances in Meteorology*. – Volume 2011. – 2011. – 8 p.
24. Sumaruk, Yu. *Secular variations of the geomagnetic field and solar activity* / Yu. Sumaruk, J. Reda // *Геофизический журнал*. – 2011. – Т. 33, № 4. – С.134-141.
25. *Sunspot Number. Sunspot Index and Long-term Solar Observations*. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу : <http://sidc.be/silso/datafiles> (дата звернення 21.10.2017 р.). – Назва з екрану.
26. Tartakovsky, V. A. *The effect of solar activity on the temperature in the ground layer* / V. A. Tartakovsky // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – Vol. 30, No. 3. – 2017. – P. 269-276.
27. *The New Grand Minimum. Actuaries Summit: 20-21 May 2013, Hilton, Sydney* / Prepared by Brent Walker // *Institute of Actuaries of Australia*. – Sydney, 2013. – 34 p.
28. Usoskin, I. G. *A History of Solar Activity over Millennia* / I. G Usoskin // *Living Reviews in Solar Physics* – Volume 14, Issue 1, December 2017. – 2017. – 97 p.
29. Usoskin, I. G. *Grand minima and maxima of solar activity: new observational* / I. G. Usoskin, S. K. Solanki, G. A. Kovaltsov // *Astronomy and Astrophysics*. – Vol. 471(1). – 2007. – P. 301-309.
30. Wei Sun. *Contrast analysis between the trajectory of the planetary system and the periodicity of solar activity* / Wei Sun, JianWang, JinRu Chen, et al. // *Annales Geophysicae*. – 35 (3). – 2017. – P. 659-669.

UDC 551.524.3

Svitlana Reshetchenko,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: swet_res@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

Valentina Klymenko,

Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: valent.klimenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

Nadyia Cherkashyna,

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: n.cherka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

Borys Buznytskyi,

Bachelor (Geography), V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: b.buznytskyi@physgeo.com, <https://orcid.org/0000-0002-4078-5485>

IDENTIFICATION OF SOLAR RADIATION EFFECT ON CLIMATIC INDICATORS OF THE TERRITORY OF UKRAINE

Formulation of the problem. Understanding that solar energy is the main source of the majority of biological, chemical and physical processes on Earth, investigation of its influence on different climatic fields allows us to define the features of its space and hour fluctuations. To define radiation and temperature regime of the territory it is necessary to determine climatic features of the spreading surface, which absorbs and will transform solar energy. Considering the fact that modern climatic changes and their consequences cover all components of the system, today there is a problem of their further study for comprehension of atmospheric processes, modeling weather conditions on different territories depending on the properties.

The purpose of the article is to determine interrelations between indexes of solar radiation (the Wolf's number) and air temperature, atmospheric pressure on the territory of Ukraine during 1965-2015, their change in space and time.

Methods. Correlative method is one of the main methods of a statistical analysis which allows us to receive correlation coefficients of solar radiation variability indexes, air temperature, atmospheric pressure on the territory of the research. This technique estimates the extent of solar radiation influence on temperature regime of the territory and distribution of atmospheric pressure.

Results. Coefficients of correlation, which characterize variability of solar radiation indexes, air temperature and atmospheric pressure on the explored territory have been received by means of statistical correlation analysis method. This technique allows us to estimate the degree and nature of solar radiation influence on a temperature regime of the territory and distribution of atmospheric pressure. It has been defined that direct correlative connection between indexes of solar radiation is characteristic of air temperature and atmospheric pressure fields. Significant statistical dependence between incoming solar radiation on the territory of Ukraine and atmospheric pressure has been noted during the spring and autumn periods mainly at the majority of stations. Between indexes of solar radiation and air temperature the inverse correlative connection in winter will be transformed to a direct connection during the spring and summer periods.

Scientific novelty and practical significance. Physical processes, which happen in the atmosphere, are characterized by complex interrelations. For further research it is important to define solar radiation value and the extent of influence on climatic conditions.

Keywords: solar radiation, solar activity, temperature regime, air temperature, atmospheric pressure, coefficient of correlation, climate changes, regional temperature.

References

1. Eremeev, V.N., Zhukov, A. N., Sizov, A. A. (2010). *Fraktal'no-volnovye svojstva mezhgodovykh kolebanij temperatury vozduha regional'nyh i global'noj klimaticheskikh sistem [Fractal-wave properties of interannual fluctuations in air temperature of regional and global climate systems]*. *Geoinformatika*, 4, 77-84.
2. Zherebcov, G. A., Kovalenko, V. A., Molodyh, S. I. (2008). *Solnechnaja aktivnost' i dinamicheskie processy v atmosfere i teplosoderzhanii mirovogo okeana [Solar activity and dynamic processes in the atmosphere and heat content of the global ocean]*. *Solnechno-zemnaja fizika*, 12 (2), 268-271.

3. Kalifarska, N. A., Bahmutov, V. G., Mel'nik, G. V. (2016). Svjaz' izmenenij klimata s geomagnitnym polem. 3. Severnoe i Juzhnoju polusharie [Connection of climate change with the geomagnetic field. 3. Northern and Southern Hemisphere]. *Geofizicheskij zhurnal*, 3 (38), 52-71.
4. Kanat'ev, A.G., Kasatkina, E. A., Shumilov, O. I. (2006). Projavlenija ciklov solnechnoj aktivnosti v atmosfere Severnoj Atlantiki i Evropy [Manifestations of solar activity cycles in the atmosphere of the North Atlantic and Europe]. *Meteorologija i gidrologija*. Moskva, 55-59.
5. Korchemlyuk, M.V., Kravchy`ns`ky`j, R.L., Savchuk, B.B. (2017). Vply`v geliofizy`chny`x faktoriv na meteorologichni umovy` Karpats`kogo nacional`nogo pry`rodnogo parku (KNPP) [Influence of heliophysical factors on meteorological conditions of the Carpathian National Nature Park]. *Materialy` mizhnarodnoyi naukovo-prakte`chnoyi konferenciyi «Innovacijny`j rozvy`tok nauky` novogo ty`syacholittya»*, Uzhgorod, Ukraine, 152-155.
6. Kocharov, G.E., Ogurcov, M. G. (1997). Sovremennye problemy solnechnoj ciklichnosti [Modern problems of solar cyclicity]. *Sankt-Peterburg: Gl. astron. observatorija*, 130-136.
7. IPCC. 2014. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Available at.: <https://ipcc.ch/pdf>
8. Chistjakov, V.F. (1997). *Solnechnye cikly i kolebanija klimata [Solar cycles and climate variation]*, Vladivostok, Russia, 156 p.
9. Beckman, J. E., Mahoney, T. J. (1998). *The Maunder Minimum and Climate Change: Have Historical Records Aided Current Research? Library and Information Services in Astronomy III*. Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife, Spain, 153, 212-217.
10. Charvátová, I. (2000). *Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? Annales Geophysicae*, 18, 399-405.
11. Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W. (2007). *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, 67.
12. Haigh, J. D. (1996). *The Impact of Solar Variability on Climate. Science*, 272, 981-984.
13. Javaram, J., Rozelot, J. P., Bertello, L. (2012). *The Solar Cycle. Advances in Astronomy*, 2012, 2.
14. Kuznetsova, T. V., Tsirulnik, L. B. (2006). *Solar cycles in global temperatures. International Astronomical Union*, 233(S233), 401-402.
15. Lean, J., Beer, J., Bradley R. (1995). *Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. Geophysical research letter*, 22, 3195-3198.
16. Martín-Puertas, C., Matthes, K., Brauer, A. (2012). *Regional atmospheric circulation shifts induced by a grand solar minimum. Nature Geoscience*, 5 (6), 397-401.
17. Ogurtsov, M. G., Kocharov, G. E., Lindholm, M., Eronen, M., Nagovitsyn, Yu. A. (2001). *Solar Activity and Regional Climate. Radiocarbon*, 43, No 2A (Part 1 of 3), 439-447.
18. Parker, D.E., Jones, P. D., Folland, C. K. (1994). *Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. Geophys. Res.*, 99 (D7), 14 373-14 399.
19. Seppälä, A., Randall, C. E., Clilverd, M. A. (2009). *Geomagnetic activity and polar surface level air temperature variability. Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114, 634.
20. Solanki, S. K., Krivova, N. A., Schüssler, M. (2002). *Search for a relationship between solar cycle amplitude and length. Astronomy and Astrophysics*, 396 (3), 1029-1035.
21. Solanki, S.K., Usoskin, I. G., Kromer, B., Schüssler, M., Beer, J. (2004). *An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. Nature*, 431 (7012), 1084-1087.
22. Solargis. *World solar resource maps*. Available at.: <https://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world>.
23. Solheim, J.-E., Stordahl, K., Humlum, O. (2011). *Solar Activity and Svalbard Temperatures. Advances in Meteorology*, 2011, 8.
24. Sumaruk, Yu., Reda, J. (2011). *Secular variations of the geomagnetic field and solar activity. J. Geophysical*, 33 (4), 134-141.
25. *Sunspot Number. Sunspot Index and Long-term Solar Observations*. Available at.: <http://sidc.be/silso/datafiles>.
26. Tartakovskiy, V. A. (2017). *The effect of solar activity on the temperature in the ground layer. Atmospheric and Oceanic Optics*, 30 (3), 269-276.
27. *The New Grand Minimum. Actuaries Summit: 20-21 May 2013, Hilton, Sydney, Institute of Actuaries of Australia, Sydney*, 34.
28. Usoskin, I. G., (2017). *A History of Solar Activity over Millennia. Living Reviews in Solar Physics*, 14 (1), 97.
29. Usoskin, I. G., Solanki, S. K., Kovaltsov, G. A. (2007) *Grand minima and maxima of solar activity: new observational. Astronomy and Astrophysics*, 471 (1), 301-309.
30. Wei, S., Wang, J., Chen, J. (2017). *Contrast analysis between the trajectory of the planetary system and the periodicity of solar activity. Annales Geophysicae*, 35 (3), 659-669.

Щеглов Олександр Андрійович,

наук. співроб., Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України,

просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: aleshcheglov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

ЗИМОВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ФОРМУЮТЬ ЗНАЧНІ ЗА ПЛОЩЕЮ ОСЕРЕДКИ З АНОМАЛЬНО-НИЗЬКОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У СХІДНІЙ ЄВРОПІ

В роботі наводиться опис типових процесів, що призводять до аномально-низьких температур за останні 20 років (1997-2017 рр.) у Східній Європі. У якості критеріїв для визначення аномально-низької температури (АНТ) прийнято значення 5-го перцентилля функції розподілу приземної температури повітря у кожній точці регулярної сітки у помірних широтах Східної Європи. Досліджено повторюваність значних осередків із АНТ та їх типові локалізації при різних синоптичних процесах. З вибірки 1997-2017 рр. за грудень-лютий виділено 75 епізодів з АНТ, серед яких 13 епізодів займали більш ніж 30% території Східної Європи і тривали від 2 до 11 днів, а також 12 випадків із тривалістю один день. Випадки, при яких аномалії займають від 20 до 30% території, рідко тривають більше 2-3 днів (11 епізодів), при цьому відзначено 33 випадки тривалістю один день. Повторюваність АНТ площею менше 20% сектора є більш характерною для південних і південно-західних частин Східної Європи, а їх тривалість переважно становить один день. Виділено п'ять основних груп процесів, що призводять до значних осередків з АНТ, які описують 75% усіх випадків. Перша група процесів у полі приземного тиску характеризується виходом чорноморського циклону на територію Поволжя та зміщенням заключного антициклону з Північного Льодовитого океану через північний захід Росії на Прибалтику та Скандинавію. Процеси другого типу пов'язані із Сибірським максимумом, що розширюється із Західного Сибіру на Східну Європу. Третя група процесів характеризується вторгненням холодних повітряних мас в тилу пірнаючих циклонів. Процеси четвертої групи описують північно-західні вторгнення холодного повітря при зміщенні антициклону із Західної Європи і подальшим стаціонаруванням над Скандинавією. Процеси п'ятої групи є різновидом процесів першої групи і характеризуються виходом південного циклону із траєкторією, зміщеною західніше – на східну або центральну частини України при посиленні скандинавського антициклону.

Ключові слова: синоптичні процеси, аномально низькі температури, Східна Європа.

А. А. Щеглов. ЗИМНИЕ СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ КРУПНЫЕ ОЧАГИ АНОМАЛЬНО-НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ. В работе приводится описание типовых процессов, приводящих к аномально-низким температурам за последние 20 лет (1997-2017 гг.) в Восточной Европе. В качестве критериев аномально-низких температур (АНТ) принято значение 5-го перцентилля функции распределения приземной температуры воздуха в каждой точке регулярной сетки в умеренных широтах Восточной Европы. Исследована повторяемость крупных очагов с АНТ и их типичные локализации при различных синоптических процессах. Из выборки 1997-2017 гг. за декабрь-февраль выделено 75 эпизодов с АНТ, среди которых 13 эпизодов занимали более 30% территории Восточной Европы и с продолжительностью от 2 до 11 дней, а также 12 случаев с продолжительностью один день. Случаи, при которых аномалии занимают от 20 до 30% территории, редко длятся более 2-3 дней (11 эпизодов), при этом отмечено 33 случая продолжительностью один день. Повторяемость АНТ площадью менее 20% сектора более характерна для южных и юго-западных частей Восточной Европы, а их продолжительность преимущественно составляет один день. Выделено пять основных групп процессов, приводящих к значительным очагам с АНТ, которые описывают 75% всех случаев. Первая группа процессов в поле приземного давления характеризуется выходом черноморского циклона на территорию Поволжья и смещением заключительного антициклона с Северного Ледовитого океана через северо-запад России на Прибалтику и Скандинавию. Процессы второго типа связаны с Сибирским максимумом, расширяющимся из Западной Сибири на Восточную Европу. Третья группа процессов характеризуется вторжением холодных воздушных масс в тылу ныряющих циклонов. Процессы четвертой группы описывают северо-западные вторжения холодного воздуха при смещении антициклона из Западной Европы с дальнейшим его стационарированием над Скандинавией. Процессы пятой группы являются разновидностью первой группы и характеризуются выходом южного циклона с траекторией, смещенной больше на запад – на восточную или центральную части Украины при усилении скандинавского антициклона.

Ключевые слова: синоптические процессы, экстремально-низкие температуры, Восточная Европа.

Постановка проблеми. Екстремальні різкі похолодання взимку у Північній півкулі особливо характерні в помірних широтах, де відбувається обмін теплом між тропічними та полярними широтами, в тому числі і у Східній Європі. Дуже низькі температури є несприятливим явищем для економіки та життєдіяльності людини, яке важливо спрогнозувати завчасно. Для планування економічної діяльності важливо мати також довгострокові прогнози терміном на місяць, сезон та більше.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча серед довгострокових прогнозів погоди переважають сезонні та місячні прогнози без деталізації по дням [9,14], саме окремі дні з екстремаль-

ними аномаліями температури роблять значний вклад у відхилення середньої температури (місячної, сезонної тощо) відносно норми. Тому вивчення таких процесів з метою пошуку можливих методів передбачення екстремальних температур повітря є актуальною задачею як кліматології, так і метеорології [10,11,15,19,20,21,23]. Об'єднання задачі дослідження екстремальних погодних явищ і типізації процесів, при яких вони виникають, є доволі поширеною практикою [2,6,12,16,18,22]. В Українському гідрометеорологічному інституті під керівництвом В.Ф. Мартазінової також виконувалися подібні роботи для вибірки початку 21 століття [5,8]. Для цього було застосовано класифікацію полів тиску за методом

еталонів синоптичних процесів [17]. Для подібних задач також можна залучати загальновідомі класифікації макропроцесів [1,3,4,7]. Однак, в даній статті ми фокусуємося більше на регіональному масштабі процесів.

Формулювання мети статті. Мета статті – визначити і охарактеризувати типові зимові синоптичні процеси, що призводять до значних за площею осередків з аномально-низькою температурою повітря у межах помірних широт Східної Європи. Об'єктом роботи є випадки із аномально-низькими температурами (далі по тексту – АНТ) повітря, що одночасно охоплюють значну частину (понад 20 відсотків) території Східної Європи, їх локалізація, і, власне, синоптичні процеси, що призводять до таких явищ за даними вибірки за 20 років (1997-2017 рр.).

Виклад основного матеріалу. Для аналізу температури повітря було виділено сектор з 15 град. сх.д. по 50 град. сх.д. по довготі; а також – з 40 град. пн.ш. по 60 град. пн.ш. по широті. В роботі використовувалися дані реаналізу NCEP/NCAR Reanalysis 1 по приземній температурі, приземному тиску і геопотенціалу АТ-500 гПа [13]. Часовий період вибірки – грудень-лютий 1997-2017 рр. Останні двадцять років – це найбільш теплий період за історію інструментальних спостережень, тому його було обрано як умовно однорідну вибірку. Зауважимо, що крок регулярної сітки бази даних по температурі повітря досить великий – 1,875 градусів по довготі і широті. Проте, в першому наближенні такі дані можуть давати уявлення про відмінності розподілу температури повітря при різних процесах. В якості порогу для визначення АНТ було використано 5-й перцентиль функції розподілу в кожній точці регулярної сітки. Хоча, варто зазначити, що для визначення екстремально-низьких температур в деяких роботах використовувався 10-відсотковий поріг [10-11]. Важливо розуміти, що оскільки північні і північно-східні регіони характеризуються більш низькими температурами повітря, а даний підхід враховує локальні кліматичні особливості, це призводить до відкидання частини холодних днів в районах з високою континентальністю клімату, які вважалися б днями з АНТ для південних регіонів. Розподіл значень 5-го перцентилі приземної температури за 06 UTC по території Східної Європи має наступні особливості. До АНТ на північному сході сектора відносяться температури нижче -23°C . Практично вся територія європейської частини Росії характеризується граничними значеннями АНТ нижче -20°C . Для території Білорусі, більшої частини України, східних частин країн Прибалтики, а також центральної частини Румунії, поріг АНТ змінюється в межах від -15°C до -19°C . Західні частини Прибалтики, Польща,

Словаччина, Угорщина, крайня західна частина України і південь України мають порогові значення від -10°C до -15°C . Над Чорним та Азовським морями показник змінюється в межах від -4°C до 0°C .

В ході роботи, поля температури трансформувалися в бінарний вигляд (нулі і одиниці в залежності від того, чи спостерігається АНТ в даній точці). Згадана процедура дозволяє в подальшому обрахувати індекс, який оцінює площу, що займають аномалії температури повітря кожен день. Сумування таких полів дозволяє оцінити найбільш ймовірні локалізації осередків із АНТ загалом або для окремих груп процесів (рис. 2-6).

Із метою виділення великомасштабних процесів і фільтрації дрібномасштабних, було введено критерій для визначення того, що потрібно вважати значним за площею (в масштабах обраного сектора) осередком АНТ. Для формування вибірки були залучені випадки з покриттям аномаліями понад 20% території сектору, оскільки така площа добре співвідносна із характерними розмірами теплих і холодних секторів циклонів у помірних широтах в Атлантико-Європейському секторі. Допоміжним засобом при групуванні процесів слугували критерії аналогічності [17], що обчислювалися стосовно набору полів приземного тиску та геопотенціалу АТ-500 за 5-денні періоди. Вони обчислювалися починаючи з двох днів до, та до двох днів після спостереження значного за площею осередку АНТ. Серед критеріїв аналогічності перевагу було надано евклідовій метриці або RMSE (root-mean-square error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (1),$$

де x, y – порівнювані значення тиску або геопотенціалу в i -тій точці регулярної сітки, n – кількість вузлів сітки в секторі; а також коефіцієнту кореляції Пірсона:

$$r = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad -1 \leq r \leq 1 \quad (2),$$

де в чисельнику – коваріація полів X та Y приземного тиску або геопотенціалу, в знаменнику – добуток стандартних відхилень двох полів, що порівнюються. Високі значення середніх п'ятиденних критеріїв аналогічності (вище 0,5 для r та менше 2,5 гПа для $RMSE$, розрахованого для приземного тиску) дозволяють групувати окремі дати. Остаточне рішення щодо віднесення процесів до певного типу приймалося після аналізу синоптичних карт. Основний принцип групування процесів – схожість положень та траєкторій баричних утворень. В статті використано синоптичні карти з інтернет-ресурсу [24].

Було виявлено ситуації, при яких осередки АНТ займали понад 30% Східно-Європейського сектору. За 20 років виявлено 75 випадків, а у

випадку аномалій площею 20-30% – виявлено 64 випадки. Сумарний індекс площі аномалій за всіма полями дозволив оцінити, в яких районах найбільша повторюваність значних осередків АНТ. На рис.1 зображена карта просторового розподілу повторюваності (щодо загальної кількості випадків АНТ) значних осередків АНТ повітря з покриттям території понад 30% (Рис. 1а) та випадків із покриттям 20-30% площі Східно-Європейського сектора (Рис. 1б).

Серед 75 епізодів виділено всього 13 епізодів з АНТ, які займали більш ніж 30% території базового регіону тривалістю від 2 до 11 днів, а також 12 випадків тривалістю один день. У той же час, випадки з площею осередків від 20 до 30%

території, рідко тривають більше 2-3 днів (11 епізодів). При цьому відзначено 33 випадки, при яких значні аномалії відмічались лише протягом одного дня. Повторюваність АНТ площею менше 20% сектора (не приведена на рисунку) є більш характерною для південних і південно-західних частин Східної Європи, а їх тривалість переважно становить один день. При цьому чітка локалізація осередків не виділяється. На рис. 1а спостерігається два максимуми повторюваності аномально низьких температур (понад 65% випадків). Перший максимум – це північний схід і схід України та сусідні з нею області в Росії. Другий максимум – центральні і північно-західні регіони України та південний захід Білорусі.

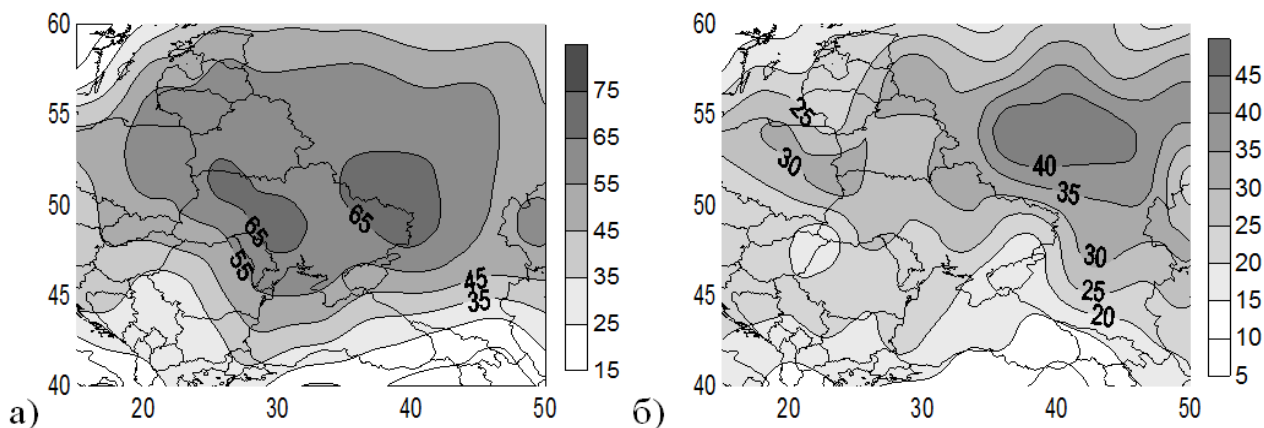


Рис. 1. Повторюваність АНТ: а) для випадків із покриттям (більше 30% території); б) для похолодань, що займають 20-30% площі сектора, грудень-лютий 1997-2017 рр.

При цьому більше 50% випадків спостерігається на досить великій території, яка включає в себе всю територію України, Білорусі, Литви, Латвії, Словаччини, східну частину Польщі і західну частину європейської території Росії. Для аномалій площею 20-30% сектора також виділяється два максимуми, але з деяким зміщенням (Рис. 1б). Райони із високою повторюваністю осередків АНТ перебувають під дією одразу багатьох типів синоптичних процесів.

Подальша характеристика основних груп процесів є більш генералізованою, ніж класичний синоптичний аналіз, оскільки на меті є узагальнення інформації про процеси з точки зору вивчення можливості їх довгострокового прогнозування. Для всіх випадків характерною ознакою є яскраво виражена меридіональність потоків у середній тропосфері. Великі аномалії пов'язані переважно із тилловими частинами висотних улоговин або циклонів. На рис.2-6 представлені синоптичні карти приземного аналізу. Карти дають уявлення про типову ситуацію для кожної з 5 груп процесів, при яких спостерігалися значні за площею осередки АНТ, що одночасно відмічались у

виділеному Східно-Європейському секторі. Дані п'ять груп процесів пояснюють 75% усіх днів із зазначеними явищами.

Група процесів 1. Для першої групи процесів об'єднуючою ознакою є північні вторгнення холодних повітряних мас внаслідок значної меридіональності потоків біля земної поверхні та у середній тропосфері, а також наявність кількох висотних циклонів у межах Атлантико-Європейського сектора. У полі приземного тиску спостерігається вихід чорноморського циклону на територію Поволжя, при цьому антициклон, що тривалий час спостерігався над Північним Льодовитим океаном, зміщується через північний захід Росії на Прибалтику та Скандинавію (Рис.2а). Тилова частина циклону через 1-2 дні після описаної ситуації територіально знаходиться в районі Східноєвропейської рівнини або Середньоросійської височини, де в цей момент і відмічаються осередки АНТ.

Холодний фронт при такій ситуації проходить через територію України, зміщуючись на південь. Наявність потужного антициклону на північному сході сприяє затоку в сектор холодного

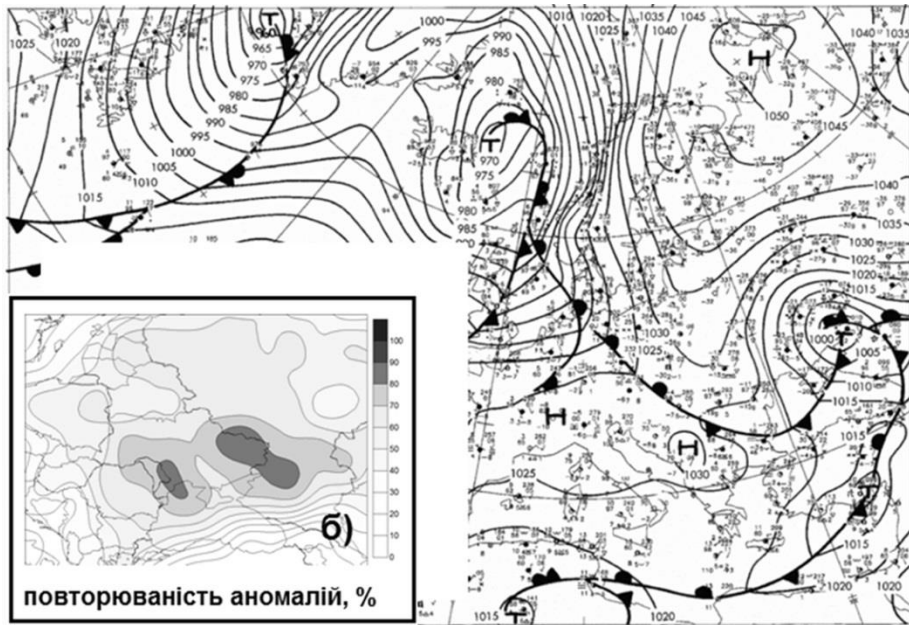


Рис. 2. Карти для процесів 1 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

континентального повітря із півночі Росії. На 3-4 день центр антициклону може зміститися в район Центральної Європи. Значні осередки АНТ найдовше спостерігаються над територією Східної України, Кубані, в центральних та південних районах України. Дещо із меншою ймовірністю холод поширюється на територію Прибалтики, Білорусі та Польщі. На рис.2б видно, що локалізація районів, де проявляються аномалії простягається із півночі на південь. За час протікання процесу,

арктичні повітряні маси переміщуються поступово із північної частини європейської території Росії на південні і східні регіони України. У цих регіонах осередки АНТ спостерігаються протягом 70-80% часу існування процесу.

Група процесів 2. Великі осередки АНТ пов'язані у цьому випадку із потужним Сибірським максимумом, що розширюється із Західного Сибіру на Східну Європу (Рис. 3а). На початку розвитку процесу, коли відроги антициклону ще не

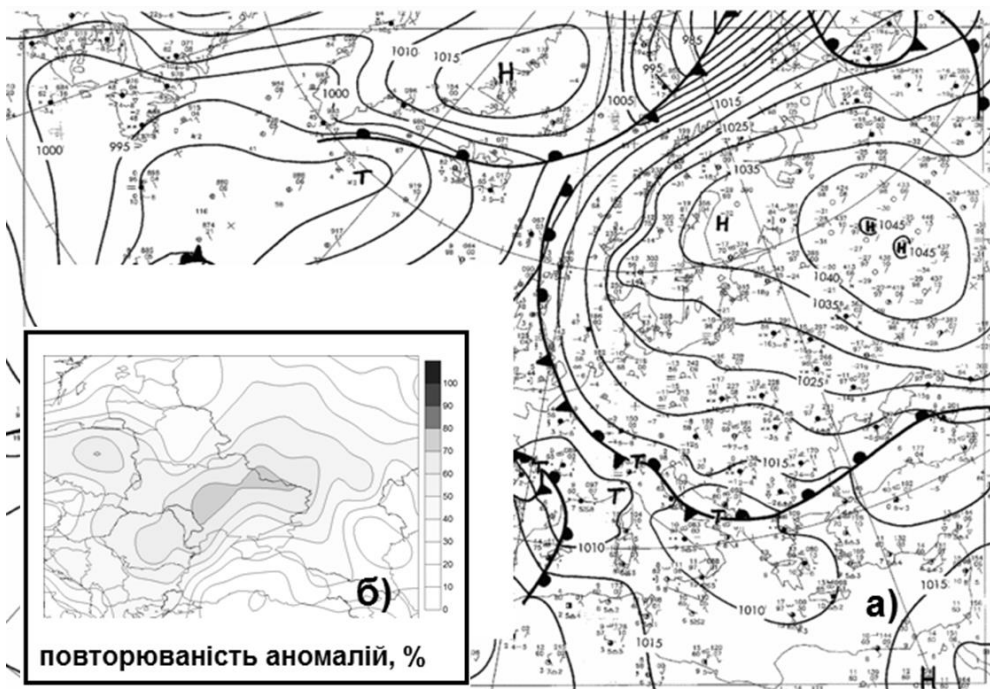


Рис. 3. Карти для процесів 2 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

досягають зазначеного сектору, у південній частині антициклону надходить холодна повітряна маса. Через 1-2 дні високий тиск займає всю територію сектора, створюючи «низький фон» температур на більшій частині даної території. Найнижчі значення температури найбільш ймовірні в районі південної периферії антициклону, де спостерігається східний напрямок вітру. Цей процес призводить до низької температури повітря пере-

важно у середніх широтах виділеного Східно-Європейського сектора – від Поволжя і до країн Вишеградської четвірки (Рис. 3б).

Група процесів 3. Дані процеси об'єднують вторгнення холодних повітряних мас в тилу пірнаючих циклонів. Характерною особливістю цієї групи процесів є зміщення циклону в зоні помірних широт на південний схід (Рис. 4а).

Ядро холоду в тилу циклону через 1-2 дня пі-

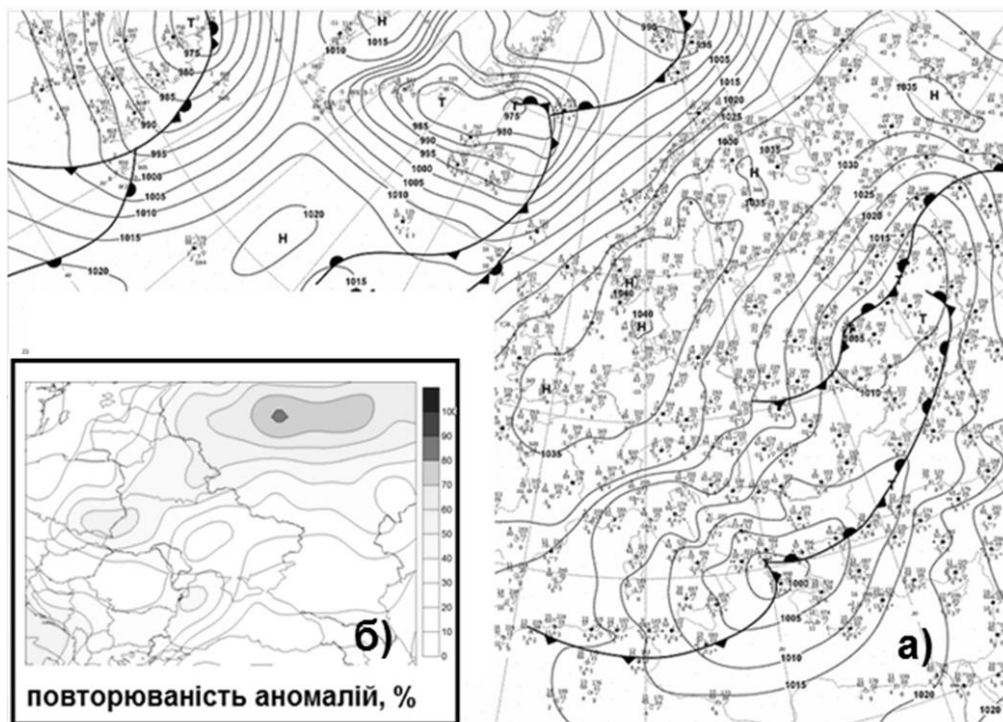


Рис. 4. Карти для процесів 3 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

дкріплюється північними потоками повітря в передній частині антициклону, який посилюється або зміщується із Західної Європи на схід. При цьому антициклон зазвичай характеризується центром із високим тиском близько 1040-1050 гПа.

Група процесів 4. Дані процеси описують північно-західні вторгнення холодного повітря. При таких процесах антициклон із Західної Європи зміщується, після чого деякий час стаціонує із центром над Скандинавією (Рис.5а). Така ситуація забезпечує короткочасні сильні похолодання в західній і центральній частині сектора і тривалі від'ємні аномалії температури повітря переважно на південному сході сектора (Рис. 5б). В середній тропосфері приземному антициклону відповідає висотний антициклон.

Група процесів 5. Процеси групи характеризуються виходом південного циклону на територію східної України або південно-західної території Росії із паралельним посиленням скандинавського антициклону (Рис.6а).

Процеси 5-ї групи можуть бути об'єднані із першою групою процесів, оскільки по суті вони відносяться до одного макропроцесу. Перший процес часто є продовженням процесів 5-ї групи, і відмічається він після виходу серії циклонів. Але в даному випадку наголошується на відмінності у положеннях основних центрів, і як наслідок – дещо різному територіальному прояві осередків холоду. Аномалії температури можуть займати практично всю східну частину виділеного сектора. На відміну від процесів першої групи, осередки АНТ п'ятої групи процесів частіше (80-90% часу) відмічаються над Прибалтикою і значно рідше – над центральною і південною Україною (Рис. 6б).

Висновки. Зібрано каталог синоптичних процесів, що формують значні за площею осередки АНТ повітря у Східній Європі. Близько 75 відсотків епізодів великих осередків АНТ, що увійшли до каталогу, добре описуються наведеними у статті п'ятьма типовими групами синоптичних ситуацій. Із загальної кількості днів із осередками

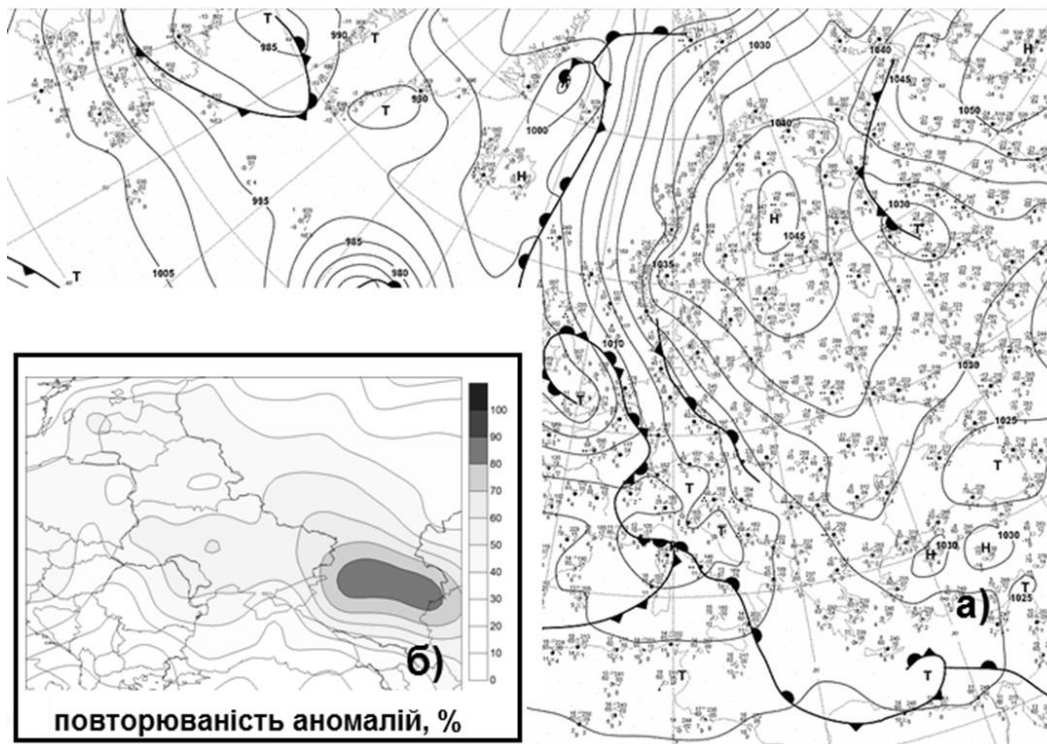


Рис. 5. Карти для процесів 4 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

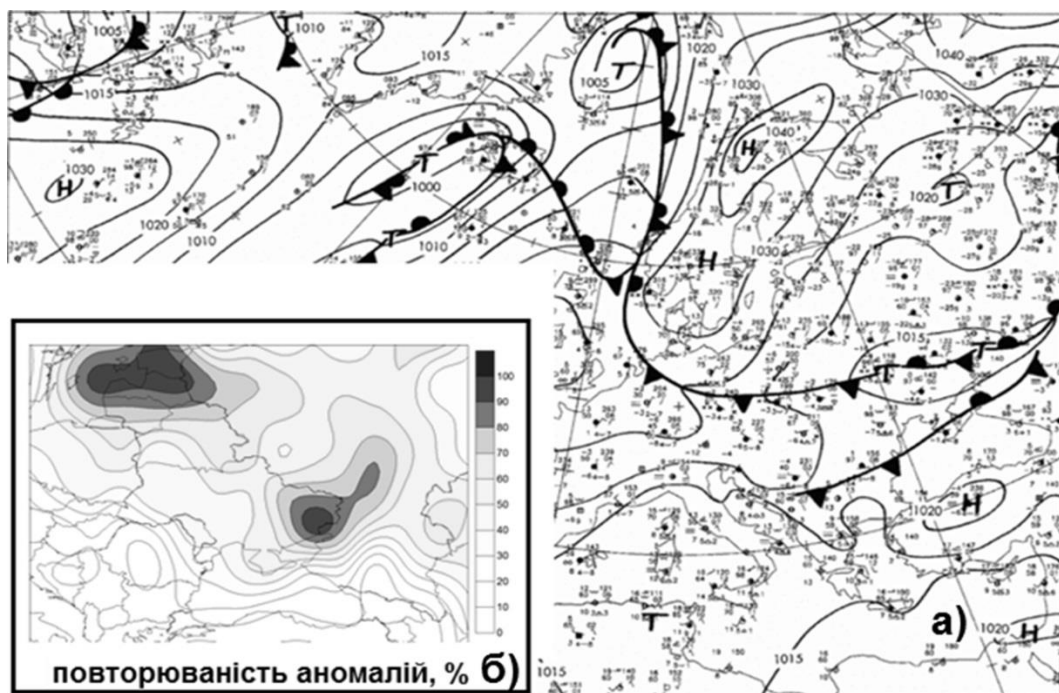


Рис. 6. Карти для процесів 5 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

АНТ площею понад 20% території, перша група процесів описує 6 епізодів (загальною тривалістю 20 днів), друга – 7 епізодів (17 днів), третя – 11 епізодів (17 днів), четверта – 8 епізодів (35 днів), а п'ята – 5 епізодів (14 днів). Решта 25% випадків із низькими температурами – переважно короткочасні і відмічаються протягом 1-2 днів. Натомість

епізоди існування значних аномалій, що увійшли до описаних у статті груп процесів, як правило, тривали більше 3-4 днів. Створений каталог процесів дозволить розпізнавати потенційні екстремальні ситуації в рамках схеми довгострокового деталізованого прогнозу аномалій температури повітря за ансамблем процесів-аналогів, що

створюється в рамках роботи над кандидатською дисертацією. Карти-схеми найбільш ймовірного розміщення екстремальних аномалій температури

для різних груп процесів можуть бути використані в якості прогностичного матеріалу.

Література

1. Вангенгейм, Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики [Текст] / Г.Я. Вангенгейм. – Тр. АН СССР. – 1952. – Т. 34. – 314 с.
2. Воскресенская, Е.Н. Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне [Текст] / Е.Н. Воскресенская, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев, В.П. Евстигнеев // Тр. УкрНИГМИ. – 2009. – Вып. 258. – С. 189-200.
3. Гирс, А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов [Текст] / А.А. Гирс. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 488 с.
4. Дзердзеевский, Б.Л. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции [Текст] / Б.Л. Дзердзеевский, А.С. Монин // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1954. – № 6. – С. 562-574.
5. Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни сучасного клімату регіонів України для підтримання сталого розвитку економіки України [Текст] : Звіт про НДР №1/12 / УкрГМІ; кер. В.Ф. Мартазінова. – № ДР 0112U004651. – Київ, 2014. – 381 с.
6. Ивус, Г.П. Циркуляционные условия возникновения сильного и стихийного ветра над южным западом Украины [Текст] / Г.П. Ивус, Э.В. Агайар, Л.М. Гурская, А.Б. Семергей-Чумаченко // Укр. Гідрометеорол. Журн. – 2016. – №17. – С.38-48.
7. Кононова, Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому [Текст] / Н.К. Кононова / отв. ред. А.Б. Шмакин. – Рос. акад. наук, ин-т географии. – М.:Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
8. Мартазінова, В.Ф. Использование синоптической информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении текущих синоптических процессов [Текст] / В.Ф. Мартазінова, Е.К. Иванова // Наук. Пр. УкрНДГМІ. – 2008. – Вып.257. – С. 5-15.
9. Угрюмов, А. И. Долгосрочные метеорологические прогнозы [Текст] / А. И. Угрюмов. – М.: РГГМУ, Санкт-Петербург, 2006. – 84 с.
10. Alexander, L.V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review and update since IPCC AR5 [Text] / L.V. Alexander // Weather Clim Extremes. – 2015. – Vol. 11. – P. 4-16.
11. Alexander, L.V. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [Text] / L.V. Alexander, X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths // J. Geophys.Res. Atmos. – 2006. – Vol. 111. – D05109. doi:10.1029/2005JD006290.
12. Domonkos, P. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation [Text] / P. Domonkos, J. Kysely, K. Piotrowicz, P. Petrovic, T.Likso // Int. J. Climatol. – 2003. – 23. – P. 987–1010.
13. Kalnay, E. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [Text] / E. Kalnay et al. // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77. – P. 437–471.
14. Kim, G-Y. Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble [Text] / G-Y. Kim, J.-B. Ahn, V. N. Kryjov, S.-J. Sohn, W.-T. Yun, R. Graham, R. K. Kolli, A. Kumar, J.-P. Ceron // Int. J. Climatol. – 2016. – Vol. 36. – P. 1657–1675. doi:10.1002/joc.4449.
15. Landsea, C.W. Comments on “monitoring and understanding trends in extreme storms: state of knowledge” [Text] / C.W. Landsea // Bull. Am. Meteor. Soc. – 2015. – Vol. 96. – P. 1175-1176. doi:10.1175/BAMS-D-13-00211.1.
16. Loikith, P.C. Characteristics of observed atmospheric circulation patterns associated with temperature extremes over North America [Text] / P.C. Loikith, A.J. Broccoli // J. Climate. – 2012. – Vol. 25. – P. 7266–7281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>.
17. Martazinova, V. The classification of synoptic patterns by method of analogs [Text] / V. Martazinova // J. Environ. Sci. Eng. – 2005. – 7. – P. 61-65.
18. Pfahl, S. Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features [Text] / S. Pfahl // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2014. – Vol. 14. – P. 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>.
19. Seneviratne, S. Attribution and prediction of extreme events: Editorial on the special issue [Text] / S. Seneviratne, F. Zwiers // Weather Clim. Extremes. – 2015. – Vol. 9. – P. 2-5. doi:10.1016/j.wace.2015.08.003.
20. Seneviratne, S. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, chapter 3 in IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Text] / S. Seneviratne, N. Nichols, D. Easterling, C. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, X. Zhang. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 2012. – P. 109-230.
21. Sillman, J. Extreme cold winter temperatures in Europe under the influence of north atlantic atmospheric blocking [Text] / J. Sillman, M. Croci-Maspoli, M. Kallache, R. Katz // J. Clim. – 2011. – Vol. 24. – P. 5899-5913. – doi:10.1175/2011JCLI4075.1.

22. Tomczyk, A. *Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe [Text] / A. Tomczyk // Idojaras. – 2016. – Vol. 120. – P. 395-414.*
23. Trenberth, K.E. *Attribution of climate extreme events [Text] / K.E. Trenberth, J.T. Fasullo, T.G. Shepherd // Nat. Clim. Chang. – 2015. Vol. 5(8). – P.725-730. doi:10.1038/NCLIMATE2657*
24. Wetterzentrale [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.wetterzentrale.de>

UDC 551.589.1

Oleksandr Shcheglov,

Researcher, Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Service of Emergencies of Ukraine
and National Academy of Sciences of Ukraine;
37 Nauki Prosp., Kyiv, 03028, Ukraine,
e-mail: aleshcheglov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

WINTER SYNOPTIC PROCESSES THAT CAUSE LARGE ANOMALIES OF EXTREME-LOW AIR TEMPERATURES IN EASTERN EUROPE

Formulation of the problem. Extreme-low temperatures are an adverse phenomenon for the country's economy and human living conditions. It is important to have a climatological estimation of typical locations and probability of extreme-low temperatures caused by different synoptic processes, which ideally should be predicted in advance.

The purpose of the article. The paper describes the typical synoptic processes that lead to extreme-low temperatures over the past 20 years (1997-2017) in middle latitudes in Eastern Europe. The probability of significant areas with extreme-low temperature and their typical localization during various synoptic processes was investigated.

Methods. Definition of "extreme-low temperatures" refers to the temperatures below the 5th percentile of the surface actual temperature distribution in each grid point. To create the sample, anomalies of extreme-low air temperatures over significant areas (more than 20 percent of the sector) were chosen. To divide the synoptic processes into groups, a synoptic analysis was applied.

Results. From the sample of 1997-2017, 75 episodes with large areas of extreme-low temperature were identified. The sample contains 13 episodes that cover more than 30% of the Eastern Europe and last from 2 to 11 days, and 12 episodes that have one day duration. Cases with anomalies occupy from 20 to 30% of the territory rarely lasts more than 2-3 days (11 episodes). There are five main groups of processes that lead to significant air temperature anomalies that cover a large area of the chosen domain. These five groups of situations include 75% of all days with large areas of extreme-low air temperature. The first group of processes: there is the movement of the cyclone from the Black Sea towards the Volga river basin region, with the anticyclone located in the northwest of Russia displacing towards the Baltic region or Scandinavia. In this case, temperature anomalies cover almost the entire eastern part of the selected sector. The second group of processes: a vast anticyclone, expanding from Western Siberia in the direction of Belarus (extreme-low temperatures most of time observed in the central part of the sector). The third group of processes: the movement of the "southern" cyclone from the Black Sea to the territory of Ukraine with subsequent displacement to the east (extreme-low temperatures most of time observed in the north-eastern part of the sector). The fourth group of processes: motionless anticyclone over the northeast of the Eastern European sector (high probability of extreme-low temperatures in the south-eastern part of the sector). The fifth group of processes: the northward trajectory of the "southern" cyclone to the territory of Ukraine while strengthening of the anticyclone over the Scandinavia. This one is similar to the first group of processes but differ by more western trajectories of cyclones, and hence different locations of extreme temperature anomalies (north-western part of the sector and eastern part of Ukraine). The remaining 25% of the days with large anomalies are mostly short-lived and observed during 1-2 days.

Scientific novelty and practical significance. The created catalogue of processes will allow recognizing the potential extreme situations that might be useful for middle and long-range forecasting.

Keywords: synoptic processes, extreme-low temperatures, Eastern Europe.

References

1. Vangengeym, G.YA. (1952). *Osnovy makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlya Arktiki [The basics of the macrocirculation method for long-term meteorological forecasts for the Arctic region]. Tr. AANII, 314.*

2. Voskresenskaya, Ye.N., Naumova, V.A., Yevstigneyev, M.P., Yevstigneyev, V.P. (2009). *Klassifikatsiya sinopticheskikh protsessov shtormov v Azovo-Chernomorskom bazeine [Classification of synoptic processes with storms in the Azov and Black Sea basin]*. Tr. UkrNIGMI, 258, 189-200.
3. Girs, A.A. (1974). *Makrotsirkulyatsionnyy metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov [Macrocirculation method of long-term meteorological forecasts]*. Leningrad.: Gidrometeoizdat, 488.
4. Dzerdzheyskiy, B.L., Monin, A.S. (1954). *Tipovyye skhemy obshchey tsirkulyatsii atmosfery i indeks tsirkulyatsii [Typical schemes of the general circulation of the atmosphere and circulation index]*. Izv. AN SSSR. Ser. Geofiz, 6, 562-574.
5. *Fizyko-statystychnyy analiz ta prohoz zminy suchasnoho klimatu rehioniv Ukrainy dlya pidtrymannya staloho rozvytku ekonomiky Ukrainy. Zvit pro NDR №1/12 [Physical-statistical analysis of the current climate and climate forecast for the Ukrainian regions for the sustainable economy development of Ukraine. Report on research work №1/12]*. (2014). Kyiv, Ukraine: UkrGMÍ, 381.
6. Ivus, G.P., Agayar, E.V., Gurskaya, L.M., Semergey-Chumachenko, A.B. (2016). *Tsirkulyatsionnyye usloviya vozniknoveniya sil'nogo i stikhiynogo vetra nad yuzhnyim zapadom Ukrainy [Circulating conditions for the emergence of a strong and elemental wind over the southern west of Ukraine]*. Ukr. Gidrometeorol. Zhurn, 17, 38-48.
7. Kononova, N.K. (2009). *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzheyskomu [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzheevsky]*. Moscow, Russia: Voyentekhnizdat, 372.
8. Martazinova, V.F., Ivanova, Ye.K (2008). *Ispol'zovaniye sinopticheskoy informatsii metodov plavayushchego i traditsionnogo analogov v predstavlenii tekushchikh sinopticheskikh protsessov [Use of synoptic information of the methods of floating and traditional analogues in the representation of current synoptic processes]*. Nauk. Pr. UkrNDGMÍ, 257, 5-15.
9. Ugryumov, A.I. (2006). *Dolgosrochnyye meteorologicheskiye prognozy [Long-term meteorological forecasts]*. Sankt-Peterburg, Russia: RGGMU, 84.
11. Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., and Griffiths, G. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*, J. Geophys. Res. Atmos., 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
12. Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso, T. (2003). *Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation*. Int. J. Climatol, 23, 987-1010.
13. Kalnay, E. et al. (1996). *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437-471.
14. Kim, G-Y., Ahn, J.-B., Kryjov, V. N, Sohn, S.-J., Yun, W.-T., Graham, R., Kolli, R.K., Kumar, A., Ceron, J.-P. (2016). *Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble*. Int. J. Climatol., 36, 1657-1675. doi:10.1002/joc.4449.
15. Landsea, C.W. (2015). *Comments on "monitoring and understanding trends in extreme storms: state of knowledge"*. Bull. Am. Meteor. Soc., 96, 1175-1176. doi:10.1175/BAMS-D-13-00211.1.
16. Loikith, P.C., Broccoli, A.J. (2012). *Characteristics of Observed Atmospheric Circulation Patterns Associated with Temperature Extremes over North America*. J. Climate, 25, 7266-7281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>.
17. Martazinova, V. (2005). *The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs*. J. Environ. Sci. Eng., 7, 61-65.
18. Pfahl, S. (2014). *Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>.
19. Seneviratne, S., Zwiers, F. (2015). *Attribution and prediction of extreme events: Editorial on the special issue*. Weather Clim. Extremes, 9, 2-5. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.003>.
20. Seneviratne, S., Nichols, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., Zhang, X. (2012). *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, chapter 3 in IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 109-230.
21. Sillman, J., Croci-Maspoli, M., Kallache, M., Katz, R. (2011). *Extreme cold winter temperatures in Europe under the influence of North Atlantic atmospheric blocking*. J. Clim., 24, 5899-5913, 10.1175/2011JCLI4075.1.
22. Tomczyk, A. (2016). *Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe*. Idojaras, 120, 395-414.
23. Trenberth, K.E., Fasullo, J.T. Shepherd, T.G. (2015). *Attribution of climatic extreme events*. Nat. Clim. Chang., 5(8), 725-730. <https://doi.org/10.1038/nclimate2657>
24. Wetterzentrale, Archive. Available at: <http://www.wetterzentrale.de>

ЕКОЛОГІЯ

УДК 911.630*4

Зоряна Володимирівна Гостюк,

здобувач, Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна,
e-mail: zorjanagos@yahoo.com.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5809-4482>;

Анатолій Васильович Мельник,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри фізичної географії, географічний факультет,
Львівський національний університет імені Івана Франка,
e-mail: anatolij.melnyk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3029-468X>

ОСОБЛИВОСТІ ЛАНДШАФТНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ЛІСОПАТОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ШЕШОРСЬКОМУ ПРИРОДООХОРОНОМУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОМУ ВІДДІЛЕННІ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГУЦУЛЬЩИНА»

В результаті наукових досліджень детально проведено лісопатологічні дослідження ключової ділянки в межах Шешорського природоохоронного науково-дослідного відділення Національного природного парку «Гуцульщина». Вперше на території національного парку, а зокрема на досліджувану територію укладено ландшафтну карту на рівні простих урочищ в масштабі 1:25 000. Польові дослідження проводилися згідно методики польового ландшафтного знімання гірських територій Г.П. Міллера, 1974 р. В результаті опрацювання матеріалів в програмному середовищі ArcGIS 10 визначено просторове поширення уражених територій, яке представлено у вигляді картосхеми. Обраховано їх площі та відсотки від морфологічних одиниць ландшафту та з'ясовано що короїдом-типографом, уражено 37,5 % деревостанів, опеньком осіннім – 23,6 %, некрозом – 22,6 %, бактеріями – 15,2 % і кореневою губкою – 1,02%. Загальна площа уражених деревостанів становить 207,8 га (18,8 % від загальної площі вкритої лісом). Лісопатологічні процеси на досліджуваній території мають місце в смерекових та ялищевих насадженнях. Найбільша частка уражених деревостанів припадає на стиглі ліси (вік 80–100 років) – 33,4 % та середньовікові (40–60 років) – 32,2%. Найменші площі ураження пов'язані з перестиглими лісами, вік яких понад 100 років – 1 % (така низька частка ураження цієї вікової групи пов'язана, очевидно, з тим, що площі таких лісів на території досліджень не значні). Встановлено залежність поширення лісопатологічних процесів від ландшафтної структури території. Найбільшого висихання зазнали деревостани в урочищах крутих схилів північно-західної і північно-східної експозицій, водозбірних ліюк північно-західної і північно-східної експозицій та зворях. Ареали висихання переважно приурочені до контактних ділянок стрій та урочищ. В результаті ландшафтно-лісопатологічного аналізу ключової ділянки визначено, що найбільша різноманітність збудників лісопатологічних процесів характерна для урочищ крутих схилів різних експозицій, оскільки в цих урочищах зустрічаються деревостани, які уражені майже всіма видами збудників, що для інших урочищ це не характерно.

Ключові слова: лісопатологічні процеси, шкідники лісу, хвороби лісу, природний територіальний комплекс (ПТК), місцевість, стрія, урочище, деревостани.

З. В. Гостюк, А. В. Мельник. ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ШЕШОРСКОМ ПРИРОДООХРАННОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ОТДЕЛЕНИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА «ГУЦУЛЬЩИНА». В результате научных исследований детально проведено лесопатологическое исследование ключевого участка в пределах Шешорского природоохранный научно-исследовательского отделения Национального природного парка «Гуцульщина». Впервые на территории национального парка, а в частности и на исследуемую территорию наложена ландшафтная карта на уровне простых урочищ в масштабе 1 : 25 000. Полевые исследования проводились по методике полевой ландшафтной съемки горных территорий Г.П. Миллера, 1974 г. В результате обработки материалов в программной среде ArcGIS 10 определено пространственное распространение пораженных территорий, которое представлено в виде картосхемы. Подсчитаны их площади и проценты от морфологических единиц ландшафта и выяснено, что короидом-типографом поражено 37,5% древостоев, опенком осенним – 23,6%, некрозом – 22,6%, бактериями – 15,2% и корневой губкой – 1,02%. Общая площадь пораженных древостоев составляет 207,8 га (18,8% от общей площади, покрытой лесом). Лесопатологические процессы на исследуемой территории имеют место в еловых и пихтовых насаждениях. Наибольшая доля пораженных древостоев приходится на спелые леса (возраст 80-100 лет) – 33,4% и средневековые (40-60 лет) – 32,2%. Наименьшие площади поражения связаны с перестиглыми лесами, возраст которых более 100 лет – 1% (такая низкая доля поражения этой возрастной группы связана, очевидно, с тем, что площади таких лесов на территории исследований не значительны). Установлена зависимость распространения лесопатологических процессов от ландшафтной структуры территории. Наибольшему усыханию подверглись древостои в урочищах крутых склонов северо-западной и северо-восточной экспозиций, водосборных воронок северо-западной и северо-восточной экспозиций и обр. Ареалы усыхания преимущественно приурочены к контактными участкам стрий и урочищ. В результате ландшафтно-лесопатологического анализа ключевого участка определено, что наибольшее разнообразие возбудителей лесопатологических процессов свойственно для урочищ крутых склонов разных экспозиций, поскольку в этих урочищах встречаются древостои, которые поражены почти всеми видами возбудителей, что для других урочищ не характерно.

Ключевые слова: лесопатологические процессы, вредители леса, болезни леса, природный территориальный комплекс (ПТК), местность, стрия, урочище, древостой.

Постановка проблеми. Однією з найбільших екологічних проблем в Українських Карпатах є всихання деревостанів, в основному ялини європейської або смереки (*Picea abies* (L.) Karst), що призводить до погіршення екологічного стану лісових природних територіальних комплексів (ПТК). Однією з причин всихання лісових насаджень є поширення шкідників та хвороб лісу, що зумовлює актуальність ландшафтного вивчення поширення лісопатологічних процесів.

Аналіз останніх публікацій. В останні роки масове всихання насаджень ялини європейської викликало стурбованість наукової спільноти [5,6,10,12,13,14,15,17,18,19]. Крім масового всихання смереки, в лісах НПП «Гуцульщина» спостерігається ще й масове всихання ялиці білої (*Abies alba*), яке виявлено в 75 % ялицевих деревостанів. На основі польових та лабораторних досліджень встановлено, що в більшості модельних деревах виявлено ДНК грибів роду *Fusarium*, і в усіх модельних деревах виявлено присутність бактерій, які можуть бути з родів *Bacillus*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, на основі чого зроблено висновок, що ймовірно причиною всихання ялиці білої є наявність вище згаданих бактерій [8].

При вивченні сучасних екологічних умов і сучасного стану лісової рослинності важливе значення має застосування ландшафтного підходу, адже рослинність є результатом взаємодії всіх природних компонентів. Ландшафтознавчі дослідження лісопатологічних явищ в Українських Карпатах започатковані О.М.Федірком в Чорногорі [14,15], отримали подальший розвиток в Сколівських Бескидах [9,10] і є актуальними і для Покутських Карпат.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Територія Покутських Карпат є однією із слабо вивчених в ландшафтному і ландшафтно-лісопатологічному відношенні регіонів Українських Карпат. На ній не проводилися детальні великомасштабні ландшафтно-лісопатологічні дослідження. На особливу увагу при цьому заслуговує територія НПП «Гуцульщина», природоохоронна діяльність якого потребує детального ландшафтного обґрунтування, в тому числі й для вирішення проблем пов'язаних з поширення лісопатологічних процесів та всиханням деревостанів.

Виклад основного матеріалу. Метою дослідження було провести аналіз ландшафтно-лісопатологічних процесів в Шешорському природоохоронному науково-дослідному відділенні (ПНДВ) національного природного парку (НПП) «Гуцульщина». Ця територія (площа 1889 га) є репрезентативною не тільки для території національного парку, але й для низькогір'я Покутських Карпат загалом. Дослідження перед-

бачало виконання таких завдань: 1) складання великомасштабної ландшафтно-лісопатологічної карти на рівні місцевостей, стрій та урочищ в масштабі 1 : 25 000; 2) аналіз фондових матеріалів парку, які стосуються структури і віку лісонасаджень та лісопатологічних обстежень Шешорського ПНДВ; 3) проведення польових ландшафтно-лісопатологічних досліджень; 4) аналіз поширення лісопатологічних явищ диференційовано по природних територіальних комплексах. Об'єктом дослідження були природні територіальні комплекси рангу висотних місцевостей, стрій і урочищ, а предметом – лісопатологічні процеси та їхнє територіальне поширення.

Згідно теоретичних основ гірського ландшафтознавства розроблених Г.П. Міллером (1974), висотна місцевість це ПТК, що являє собою поєднання генетично споріднених урочищ у межах одного висотного комплексу мезоформ рельєфу, які виникли під домінуючим впливом одного із факторів морфогенезу з певним варіантом місцевого гідрокліматичного режиму і ґрунтово-рослинного покриву, стрія – природний територіальний комплекс, який складається з низки літологічно однорідних урочищ у межах однієї висотної місцевості, а урочище – ПТК, що сформувався на мезоформі рельєфу [5].

Найбільш поширеними лісопатологічними процесами на території НПП «Гуцульщина» є ураження деревостанів шкідниками – короїд-типограф (*Ips typographus* L.) та хворобами – опеньок осінній (*Armillaria mellea*), коренева губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.)) і некроз (*Necrosis*), які пошкоджують насадження смереки, і бактерії (*Bacillus*, *Erwinia*, *Pseudomonas*), які уражають деревостани ялиці білої.

Короїд-типограф (*Ips typographus* L.) – жук з родини короїдних, чорно-коричневого кольору довжиною 4–5,5 мм [17,19]. Це небезпечний стовбурний шкідник хвойних лісів, який заселяє середню та нижню частину стовбура. Розвиток яєць, личинок та лялечок триває до 65 днів, молоді жуки з'являються у червні-липні, у другій декаді липня вони вигризають отвори з яких вилітають і в тепле та сухе літо здатні, заселивши атаковані дерева ялини європейської, давати другу генерацію [19]. Опеньок осінній (*Armillaria mellea*) належить до групи токсигенних паразитів, оскільки виділяє сильні токсини які, проникаючи у дерево, зумовлюють його всихання [17]. Найхарактернішою ознакою ураження дерев опеньком є наявність ризоморф темно-бурого кольору, які можуть підніматися під корою стовбура мертвих дерев на висоту до 10 м і вище [17]. Коренева губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.)) пошкоджує корені і стовбур ялини (до висоти 20 м) [17]. Початкова стадія збудника гнилі в ялини європейської

характеризується виникненням фіолетово-червоного відтінку в деревині коренів і стовбурів, в подальшому деревина темніє і стає червоно-бурою, в ній з'являються видовжені білі ніздрюваті смужки з чорною цяткою посередині, утворюється строката гниль, і в кінцевій стадії деревина перетворюється в безструктурну масу, а з часом всередині стовбура утворюється дупло [17]. Некроз (*Necrosis*) – хвороба, яка пов'язана з передчасною загибеллю і руйнуванням клітин в живому організмі [20]. Бактерії (*Bacillus*, *Erwinia*, *Pseudomonas*) призводять до суттєвого зниження імунітету дерев, з чим пов'язаний перший етап всихання. На другому етапі після колонізації бактеріями ослаблене дерево заражається грибами роду *Fusarium*, які ще більше його пригнічують і в більшості випадків це поєднання патогенів призводить до неминучого всихання [7].

Польове ландшафтне картування проводилося нами згідно методики Г. П. Міллера [5,6], а ландшафтне дослідження лісопатологічних процесів – згідно методики О.М. Федірка [14]. На всіх етапах дослідження використовувалося програмне забезпечення ArcGIS 10. Вихідними картографічними матеріалами були топографічні 1 : 25 000, геологічні, геоморфологічні карти та карти четвертинних відкладів масштабу 1 : 50 000 [1,3] та ландшафтна карта Покутських Карпат масштабу 1 : 50 000 [2]. Також були використані космоснімки та цифрова модель рельєфу (архів Landsat Геологічної служби США USGS – (United States Geological Survey)).

Крім того використовувалися дані відділу лісової охорони НПП «Гуцульщина» про фітопатологічні, ентомогенні, вітровально-буреломні та інші порушення лісонасаджень [16]. Для аналізу зв'язку лісопатологічних процесів з видовою і

віковою структурою насаджень використовувались план лісонасаджень та лісотаксаційний опис Шешорського ПНДВ [8,11].

Лісопатологічні процеси на досліджуваній території мають місце в смерекових та ялицевих насадженнях. Найбільша частка уражених деревостанів припадає на стиглі ліси (вік 80–100 років) – 33,4 % та середньовікові (40–60 років) – 32,2%. Найменші площі ураження пов'язані з перестиглими лісами, вік яких понад 100 років – 1 % (така низька частка ураження цієї вікової групи пов'язана, очевидно, з тим, що площі таких лісів на території досліджень не значні) (рис. 1).

Результатами ландшафтного аналізу поширення лісопатологічних процесів стали ландшафтно-лісопатологічна карта (рис. 2) і таблиці (табл. 1,2), які ілюструють просторове поширення лісопатологічних процесів по ПТК.

Висотна місцевість крутосхилого ерозійно-денудаційного лісового і вториннолучного низькогір'я (А) (тут і далі наведені скорочені назви місцевостей) займає 45,5 % від всієї досліджуваної території. Лісові землі тут становлять 80,7 %. Шкідниками та хворобами уражено 21,2 % території вкритих лісом (рис.2, таб.1 і табл. 2). Найбільше деревостани уражені некрозом, який поширений на 46 га, що становить 6,6 % від площі усіх лісів в даній місцевості. Хвороба поширена у південно-східній частині місцевості. Розподіл уражень по класах віку деревостанів має наступний характер: 3,5 % це стиглі деревостани, 2,6 % – пристигаючі і 0,5 % – середньовікові. Короїдом-типографом уражено 5,6 % деревостанів. Основні площі уражень зосереджені в північно-західній та в південно-східній частинах місцевості. Найбільшого пошкодження зазнали середньовікові деревостани – 3,5 % від усієї площі зайнятої лісом.

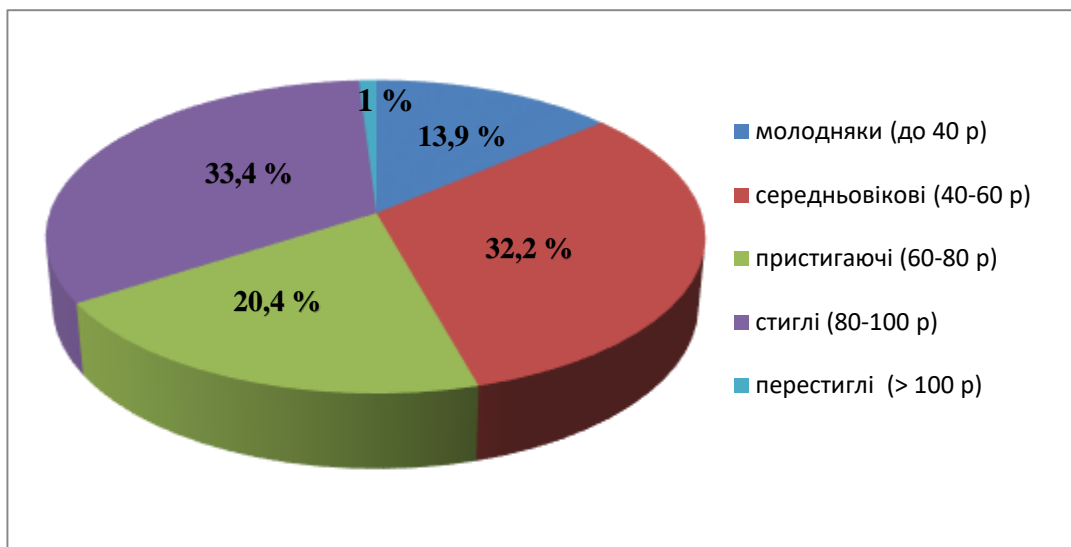


Рис. 1. Розподіл площ всихаючих деревостанів в межах Шешорського ПНДВ НПП «Гуцульщина» по класах віку (розраховано на основі даних лісопатологічних обстежень та плану лісонасаджень [8,16])

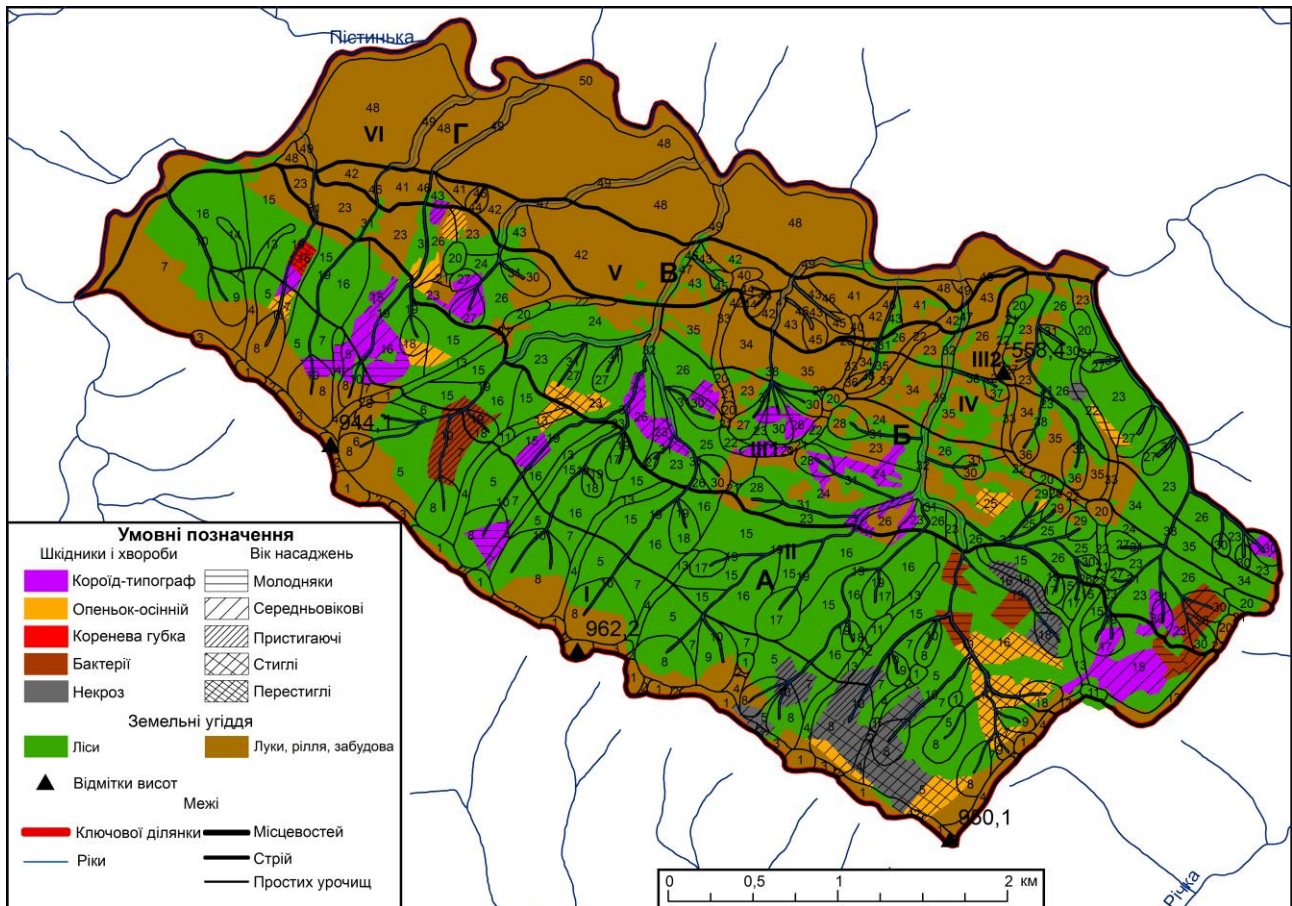


Рис. 2. Лісопатологічні процеси у природних територіальних комплексах Шешорського ПНДВ станом на 1.01. 2018 рік (укладена на основі фондів матеріалів НПП «Гуцульщина» [8,16]).

Умовні позначення:

А. Висотна місцевість крутосхилого ерозійно-денудаційного лісового і вториннолучного низькогір'я з буково-ялицево-смериковими, смереково-ялицево-буковими лісами* на малопотужних, сильноскелетних бурих гірсько-лісових ґрунтах. **Стрія I.** Гребені хребтів поздовжнього простягання та круті пригребеневі схили складені ваннистим піщовиком-аргілітовим-мергельним дрібноритмічним флішем з вологими ялицевими сушмеречинами на світло-бурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах (частково зайняті вторинними луками з населеними пунктами). **Урочища.** 1. Куполоподібні вершини з вторинними мітлицево-трясунково-кострицевими луками на дерново-буроземних малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 2. Сідловини з вторинними чебрецево-кострицевими луками на дерново-буроземних малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 3. Спадисті ділянки гребенів хребтів з вторинними чебрецево-кострицевими луками на дерново-буроземних малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 4. Гребені крутопадаючих відрогів хребтів північно-східного простягання з вторинними трясунково-кострицевими луками на дерново-буроземних малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 5. Круті схили північно-східної експозиції з вологими чорницево-ожиковими буково-ялицевими сушмеречинами на світло-бурих гірсько-лісових малопотужних середньоскелетних ґрунтах. 6. Круті схили південно-східної експозиції з вологими чорницево-ожиковими буково-ялицевими сушмеречинами на світло-бурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 7. Круті схили північно-західної експозиції з чорницево-ожиковими буково-ялицевими сушмеречинами на світло-бурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 8. Водозбірні лійки північно-східної і північної експозиції з вологими чорницево-ожиковими буково-ялицевими сушмеречинами на світло-бурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 9. Водозбірні лійки північно-західної експозиції з вологими чорницево-ожиковими буково-ялицевими сушмеречинами на бурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах. 10. Звори з вологими осоковими ялицевими сушмеречинами на бурих гірсько-лісових ґрунтах. **Стрія II.** Круті і дуже круті схили та крутосхилі відрогів хребтів, складені неваннистими грубошаруватими піщовиками та піщовиком груборитмічним флішем з вологими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. **Урочища.** 11. Випуклі вершини з ожиково-чорницеви смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 12. Сідловини з ожиково-чорницеви смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних, ґрунтах. 13. Гребені крутопадаючих відрогів хребтів північно-східного простягання з вологими чорницево-ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 14. Гребені крутопадаючих відрогів хребтів північно-західного простягання з вологими чорницево-ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 15. Круті схили північно-східної і північної експозиції з вологими чорницево-ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 16. Круті схили північно-західної та західної експозиції з вологими чорницево-ожиковими

смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 17. Водозбірні лійки північно-східної експозиції з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 18. Водозбірні лійки північно-західної експозиції з вологими чорницево-ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 19. Звори з вологими осоково-зубницевиими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. **Б. Висотна місцевість** спадистосхилого ерозійно-денудаційного лісистого і вториннолучного низькогір'я з смереково-ялицевими субучинами на середньопотужних середньоскелетних бурих гірсько-лісових ґрунтах. **Стрія III.** Системи куполоподібних вершин і сідловин, круті і сильноспадисті схили складені невапнистим аргілітово-пісковиковиковим тонкоритмічним флішем з вологими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних ґрунтах (зайняті частково вторинними луками з населеними пунктами). **Урочища.** 20. Випуклі вершини з вторинними кострицево-буквицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 21. Сідловини з вторинними кострицево-буквицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 22. Спадисті ділянки гребенів хребтів з вторинними кострицево-буквицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 23. Сильноспадисті схили північно-східної і північної експозицій з вологими ожиково-зубницевиими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 24. Сильноспадисті схили південно-східної експозиції з вологими ожиково-чорницевиими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 25. Сильноспадисті схили південно-західної експозиції з вологими ожиково-чорницевиими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 26. Сильноспадисті схили північно-західної та західної експозицій з вологими ожиково-чорницевиими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних, середньоскелетних ґрунтах. 27. Водозбірні лійки північно-східної експозиції з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 28. Водозбірні лійки південно-східної експозиції з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 29. Водозбірні лійки південно-західної експозиції з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 30. Водозбірні лійки північно-західної експозиції з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелетних ґрунтах. 31. Звори з вологими ожиковими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових ґрунтах. 32. Днища потоків з сирими яглицево-білокременевими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових потужних слабоскелетних ґрунтах. **Стрія IV.** Розчленовані долинами потоків синклінальні зниження з сильноспадистими схилами складені вапнистим аргілітовим флішем з вологими ялицевими субучинами на темно-бурих гірсько-лісових потужних ґрунтах (зайняті переважно вторинними луками з населеними пунктами). **Урочища.** 33. Сильноспадисті ділянки гребенів хребтів північно-східного простягання з вторинними буквицево-кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних слабоскелетних ґрунтах. 34. Сильноспадисті схили північно-східної експозиції з вологими ожиковими ялицевими субучинами на темно-бурих гірсько-лісових потужних слабоскелетних ґрунтах. 35. Сильноспадисті схили північно-західної експозиції з вологими ожиковими ялицевими субучинами на темно-бурих гірсько-лісових потужних слабоскелетних ґрунтах. 36. Водозбірні лійки північно-східної експозиції з вологими буквицево-кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних слабоскелетних ґрунтах. 37. Водозбірні лійки північно-західної експозиції з вологими буквицево-кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних слабоскелетних ґрунтах. 38. Звори з вологими яглицево-калюжницевиими сіровільшняками на бурих гірсько-лісових ґрунтах. 39. Днища потоків з сирими яглицево-білокременевими сіровільшняками на дерново-буроземних потужних слабоскелетних ґрунтах. **В. Висотна місцевість** високих терасованих схилів річкових долин з вторинними луками на дерново-буроземних ґрунтах. **Стрія V.** Спадисті крупноступінчасті терасовані схили складені невапнистим аргілітово-пісковиковиковим тонкоритмічним флішем з вторинними злаково-різнотравними луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. **Урочища.** 40. Випуклі поверхні високих терас з буквицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 41. Спадисті схили високих терас північної експозиції з кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 42. Спадисті схили високих терас північно-східної експозиції з кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 43. Спадисті схили високих терас північно-західної експозиції з кострицево-мітлицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 44. Водозбірні лійки північно-східної експозиції з вологими буквицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 45. Водозбірні лійки північно-західної експозиції з вологими буквицевими луками на дерново-буроземних потужних малоскелетних ґрунтах. 46. Звори з сирими буквицево-калюжницевиими сіровільшняками на дерново-буроземних ґрунтах. 47. Днища потоків з сирими яглицево-буквицево-білокременистими сіровільшняками на дерново-буроземних ґрунтах. **Г. Висотна місцевість** терасованого днища річкових долин з формаціями сірої вільхи та вторинними луками на дерново-буроземних ґрунтах. **Стрія VI.** Поверхні низьких терас і заплав складені піщано-галечниково-валунним алювієм на корінному аргілітово-пісковиковому цоколі з сирими сіровільшняками та вторинними злаково-різнотравними луками на дерново-буроземних ґрунтах. **Урочища.** 48. Спадисті поверхні середніх і низьких терас з сирими калюжницево-білокременевими сіровільшняками на дерново-буроземних ґрунтах. 49. Днища потоків складені гравієм і галькою де інде порослі сіровільшняками на дерново-буроземних ґрунтах. 50. Заплави рік складені гравієм і галькою з луками та сирими сіровільшняками на лучних ґрунтах.

*В назвах місцевостей, стрій і урочищ подано сучасний рослинний покрив

Таблиця 1

Розподіл лісопатологічних процесів по висотних місцевостях і стріях Шешорського ПНДВ НПШ «Гуцульщина» станом на 1.01.2018 року (укладено на основі рекогносцирувального лісопатологічного обстеження насаджень на предмет доцільності призначення заходів з поліпшення санітарного стану лісів НПШ «Гуцульщина» [16])

| Індекс ПТК | Площа ПТК | | Площа територій вкритих лісом | | Площа уражених насаджень | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|------|-------------------------------|------|--------------------------|-------|-----------------|------|--------|------|-----------------|-----|----------|-----|----------------|-----|--|
| | га | % * | га | % ** | Всього | | В тому числі | | | | | | | | | | |
| | | | | | га | % *** | Коройд-типограф | | Некроз | | Опеньок осінній | | Бактерії | | Коренева губка | | |
| | | | | | га | % | га | % | га | % | га | % | га | % | га | % | |
| А. Крутосхиле ерозійно-денудаційне лісисте і вториннолучне низькогір'я | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 860,0 | 45,7 | 694,7 | 80,7 | 147,5 | 21,2 | 39,0 | 5,6 | 46,0 | 6,6 | 35,9 | 5,1 | 24,4 | 3,5 | 2,1 | 0,3 | |
| I | 431,4 | 50,1 | 282,9 | 65,5 | 73,5 | 26,0 | 8,0 | 2,8 | 38,3 | 13,5 | 18,2 | 6,4 | 8,9 | 3,1 | - | - | |
| II | 429,6 | 49,9 | 411,8 | 95,8 | 74,0 | 17,9 | 31,0 | 7,5 | 7,7 | 1,8 | 17,7 | 4,3 | 15,5 | 3,7 | 2,1 | 0,5 | |
| Б. Сладистосхиле лісисте і вториннолучне низькогір'я | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 614,0 | 32,5 | 409,4 | 66,6 | 60,0 | 14,6 | 39,0 | 9,5 | 1,0 | 0,2 | 13,3 | 3,2 | 7,2 | 1,7 | - | - | |
| III.1 | 376,5 | 61,3 | 280,5 | 74,5 | 55,4 | 19,7 | 37,3 | 13,2 | - | - | 11,6 | 4,1 | 7,2 | 2,5 | - | - | |
| III.2 | 116,5 | 18,9 | 84,5 | 72,5 | 4,6 | 5,4 | 1,7 | 2,0 | 1,0 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | - | - | - | - | |
| IV | 121,0 | 19,8 | 44,4 | 36,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| В. Високі терасовані схили річкових долин | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V | 133,0 | 7,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Г. Терасовані днища річкових долин | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VI | 280,0 | 14,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Всього | 1889,0 | 100 | 1104,1 | 58,4 | 207,8 | 18,8 | 78,0 | 7,0 | 47,0 | 4,2 | 49,2 | 4,5 | 31,5 | 2,8 | 2,2 | 0,2 | |

* Відсоток від площі Шешорського ПНДВ ** Відсоток площі ПТК *** Відсоток від території ПТК вкритої лісом

Таблиця 2

Розподіл площ деревостанів пошкоджених шкідниками і хворобами по висогних місцевостях і групах віку насаджень Шешорського ПНДВ НПП «Гуцульщина» (розраховано на основі даних рекогносцирувального лісопатологічного обстеження насаджень та плану лісонасаджень Шешорського ПНДВ НПП «Гуцульщина» [16])

| Індекс місцевості | Вид уражень | Групи віку насаджень | Площа, га | % від площі місцевості зайнятої лісом | Індекс місцевості | Вид уражень | Групи віку насаджень | Площа, га | % від площі місцевості зайнятої лісом |
|-------------------|-----------------|----------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|----------------|---------------------------------------|
| А | Корoid-типограф | Середньовікові | 22,9 | 3,2 | Б | Корoid-типограф | Середньовікові | 25,7 | 6,2 |
| | | Молодняки | 10,7 | 1,7 | | | Стигли | 6,3 | 1,5 |
| | | Пристигаючі | 5,0 | 0,7 | | | Пристигаючі | 3,9 | 0,9 |
| | Некроз | Стигли | 23,2 | 3,5 | | Некроз | Молодняки | 1,9 | 0,4 |
| | | Пристигаючі | 17,2 | 2,6 | | | Молодняки | 1,1 | 0,2 |
| | | Середньовікові | 2,5 | 0,5 | | | Пристигаючі | 2,1 | 4,9 |
| | Опеньок | Стигли | 28,4 | 4,1 | | Опеньок | Стигли | 6,7 | 1,6 |
| | | Середньовікові | 5,9 | 1,0 | | | Середньовікові | 3,0 | 0,7 |
| | | Пристигаючі | 11,7 | 1,6 | | | Молодняки | 1,7 | 0,4 |
| | Бактерії | Молодняки | 11,3 | 1,6 | | Бактерії | Бактерії | Середньовікові | 7,2 |
| Середньовікові | | 1,1 | 0,2 | | | | | | |
| Стигли | | 0,9 | 0,1 | | | | | | |
| Коренева губка | Перестиглі | 2,1 | 0,3 | | | | | | |

Значно менше уражень зазнають молодняки (1,7 %), і найменше – пристигаючі ліси (0,7 %). Деревостани уражені опеньком осіннім поширені по всій території місцевості і займають площу 35,9 га (5,1 %). Найбільшого пошкодження зазнали стиглі деревостани – 4,1 %, незначного – середньовікові (1 %). Бактерії уразили 24,4 га або 3,5 % лісів, з яких 1,6 % це молодняки, 1,6 % – пристигаючі, 0,1 % – стиглі та 0,2 % – середньовікові. Кореневою губкою уражена незначна площа перестиглих лісів – 2,1 га (0,3 %).

Місцевість крутосхилого ерозійно-денудаційного лісистого і вториннолучного низькогір'я (А) складається з двох стрій та 19 видів урочищ (рис.1). Стрія представлена гребенем хребта поздовжнього простягання та крутими пригребеновими схилами складена вапнистим пісковиково-аргілітово-мергельним дрібноритмічним флішем з вологими ялицевими сусмеречинами на світлобурих гірсько-лісових малопотужних сильноскелетних ґрунтах (І) займає 22,8 % від всієї досліджуваної території і 50 % від площі місцевості. Території вкриті лісом тут становить 65,5 % від площі всієї стрії.

В межах стрії станом на 1.01.2018 року виявлено, що некрозом уражені найбільші площі – 38,3 га (13,5 %). Вони знаходяться в південно-східній частині стрії і приурочені до ландшафтних урочищ крутих схилів північно-східної експозиції (5) (тут і далі наводяться скорочені назви урочищ), водозбірних лійок північно-східної і північної експозиції (8), рідше до крутих схилів північно-західної експозиції (7), які зайняті стиглими та пристигаючими породами смереки. Пошкоджені опеньком ліси займають 18,2 га (6,4 % від площі лісів в даній стрії). Вони знаходяться переважно у південно-східній її частині і частково у північно-західній. Більшість уражених насаджень знаходиться в урочищах крутих схилів північно-східної експозиції (5), які зайняті стиглими лісами і незначна частина приурочена до урочищ крутих схилів північно-західної експозиції (7) та верхньої частини урочища водозбірної лійки північно-східної експозиції (8). Деревостани уражені бактеріями займають площу 8,9 га (3,1 %). Вони приурочені до урочищ зворів (10) і нижніх частин крутих схилів північно-східної (5) та північно-західної (7) експозицій.

Пошкоджені короїдом-типографом деревостани загальною площею 8,0 га (2,8 % від території вкритих лісом) знаходяться в північно-західній частині стрії і пов'язані з урочищами гребенів крутопадаючих відрогів хребтів північно-східного простягання (4), крутих схилів північно-східної експозиції (5) та північно-західної експозиції (7), а також нижніх частин водозбірних лійок північно-східної і північної експозицій (8).

Стрія представлена системою куполоподібних вершин і сідловин, крутих і сильноспадаєстих схилів складених невапнистим аргілітово-пісковиковим тонкоритмічним флішем з вологими смереково-ялицевими субучинами (ІІ) займає 22,7 % площі досліджуваної території та близько 50 % площі місцевості А (рис. 1, таб. 2). Майже вся територія стрії вкрита лісом (95,7 %) з якої 74 га або 17,9 % уражена лісопатологічними процесами. Переважно середньовікові насадження пошкоджені короїдом-типографом. Вони поширені по всій стрії, в основному в урочищах крутих схилів північно-східної і північної експозицій (15) та крутих схилів північно-західної та західної експозицій (16). Невеликі площі, з пристигаючими та середньовіковими деревостанами, уражені короїдом також в урочищах водозбірних лійок північно-східної експозиції (17) та зворів (19).

Лісові масиви уражені опеньком осіннім куртинно поширені по всій стрії і займають 17,7 га (4,3 % від площі вкритої лісом). Найбільша територія ураження знаходиться в урочищі крутого схилу північно-західної експозиції (16) в стиглих деревостанах у південно-східній частині стрії. Крім того уражені деревостани поширені в урочищах крутих схилів північно-східної і північної експозицій (15), які вкриті середньовіковими лісами, водозбірних лійок північно-західної експозиції (18), що вкриті середньовіковими та стиглими лісами, зворів (19) з стиглими деревостанами.

Деревостани пошкоджені бактеріями займають площу 15,5 га (3,7 %, і розміщені по всій стрії – в основному в молодих деревостанах і в меншій кількості в пристигаючих та стиглих лісах (таб.1). Вони знаходяться в урочищах крутих схилів північно-східної і північної експозицій (15) та крутих схилів північно-західної та західної експозицій (16). Невелика площа уражених пристигаючих деревостанів розміщена в урочищі водозбірної лійки північно-західної експозиції (18).

Некрозом пошкоджено 7,7 га (1,8 % площі стрії зайнятої лісом). Уражені ділянки насаджень це пристигаючі деревостани, які наявні в урочищах гребенів крутопадаючих відрогів хребтів північно-західного простягання (14), крутих схилів північно-східної і північної експозицій (15), крутих схилів північно-західної та західної експозицій (16). Стигли ліси уражені некрозом поширені в урочищах зворів (19) та водозбірних лійках північно-західної експозиції (18). Деревостани уражені кореневою губкою займають незначні площі – 2,1 га (0,5 %). Це перестиглі деревостани в урочищі крутого схилу північно-західної експозиції (16).

Місцевість спадаєстосхилого ерозійно-денудаційного лісистого і вториннолучного низько-

гір'я (Б) займає 32,5 % площі всієї досліджуваної території. Тут вкриті лісами землі становлять 409,4 га (66,6 % від всієї площі місцевості). Уражені лісопатологічними процесами деревостани займають 60 га (14,6 % від площі зайнятої лісом) (таб.1). Найбільші площі лісів у місцевості уражені короїдом-типографом – 39 га (9,5 %). Це переважно середньовікові деревостани, які займають площу 6,2 %. Значно меншу площу ураження мають стиглі деревостани – 1,5 %, пристигаючі – 0,9 % і найменшу – молодняки (0,4 %). Опеньком пошкоджено 13,3 га (3,2 %) деревостанів, з яких пристигаючі становлять – 4,9 %, стиглі – 1,6 %, середньовікові – 0,7 % і молодняки – 0,4 %. Бактеріями пошкоджені середньовікові деревостани, які займають площу 7,2 га (1,7 %), а некрозом – незначні площі молодих деревостанів (1 га або 0,2 %).

Місцевість спадистосхилого ерозійно-денудаційного лісистого і вториннолучного низькогір'я (Б) складається з двох видів стрій та 20 видів ландшафтних урочищ. Вид стрії, який утворюють система куполоподібних вершин і сідловин, крутих і сильноспадистих схилів складених невапнистим аргілітово-пісковиковиковим тонкоритмічним флішем з вологими смереково-ялицевими субучинами на бурих гірсько-лісових середньопотужних ґрунтах, представлений двома контурами (III.1 і III.2). Стрїя III.1 займає площу 376,5 га (61,3 % місцевості). Території вкриті лісом тут становлять 74,5 %. Шкідниками та хворобами уражено 19,7 % площі стрії покритої лісом (рис.2, таб.1). Деревостани, які зазнали ураження, поширені по території всієї стрії. Дерева уражені короїдом-типографом займають найбільшу площу – 37,3 га (13,2 %). Середньовікові деревостани, уражені короїдом, в основному зосереджені в урочищах сильно спадистих схилів північно-західної та західної експозицій (26), водозбірних лійок північно-східної експозиції (27), водозбірних лійок південно-східної експозиції (28), водозбірних лійок північно-західної експозиції (30). Менші площі ураження зосереджені у стиглих деревостанах в урочищах сильноспадистих схилів північно-західної та західної експозицій (26) та сильноспадистих схилів північно-східної і північної експозицій (23). Уражені короїдом пристигаючі деревостани займають незначну площу (0,9 %) в урочищах сильноспадистих схилів південно-східної експозиції (24), сильноспадистих схилів північно-західної та західної експозиції (26), днищ потоків (32).

Площі деревостанів уражені опеньком займають 11,6 га (4,1 % від площі стрії зайнятої лісом). Вони мають місце в урочищах сильноспадистих схилів північно-східної і північної експозицій (23), сильноспадистих схилів південно-західної

експозиції (25), сильноспадистих схилів північно-західної та західної експозицій (26), водозбірних лійок північно-східної експозиції (27).

В південно-східній частині стрії на площі 7,2 га (1,7 %) в середньовікових деревостанах виявлені ліси уражені бактеріями, які приурочені до ландшафтних урочищ сильноспадистих схилів північно-східної і північної експозицій (23), сильно спадистих схилів північно-західної та західної експозицій (26) та водозбірних лійок північно-західної експозиції (30).

Стрїя III.2 займає площу 116,5 га (18,9 % від площі місцевості). Покриті лісом землі в межах стрії становлять 84,5 га (72,5 % від всієї її площі). Пошкоджені шкідниками та хворобами ліси тут займають всього лише 4,6 га (5,4 % від територій вкритих лісом). Короїдом-типографом пошкоджено 1,7 га (2 %) деревостанів, які наявні в урочищі водозбірної лійки північно-західної експозиції (30). Опеньком осіннім уражена така сама площа, пошкоджені деревостани знаходяться в урочищах спадистих ділянок гребенів хребтів (22), сильноспадистих схилів північно-східної і північної експозицій (23), водозбірних лійок північно-східної експозиції (27). Найменша площа деревостанів уражена некрозом – 1 га (1,2 %). Це має місце в урочищах спадистих ділянок гребенів хребтів (22) та сильноспадистих схилів північно-західної та західної експозицій (26), які покриті молодняками.

Стрїя представлена синклінальними зниженнями розчленованими долинами потоків з сильноспадистими схилами, які складені вапнистим аргілітовим флішем з вологими ялицевими субучинами на темно-бурих гірсько-лісових потужних ґрунтах (IV) займає 121 га (19,8 % від площі місцевості). Лісами тут зайнято лише 36,6 % площі стрії, в яких під час досліджень не виявлено лісопатологічних процесів.

Висновки. В результаті проведення ландшафтної аналізу поширення лісопатологічних процесів на території Шешорського ПНДВ з'ясовано, що вони пов'язані з короїдом-типографом, яким уражено 37,5 % деревостанів, опеньком осіннім – 23,6 %, некрозом – 22,6 %, бактеріями – 15,2 % і кореневою губкою – 1,02%. Загальна площа уражених деревостанів становить 207,8 га (18,8 % від загальної площі лісовкритих ПТК).

Найбільшого всихання зазнали деревостани в урочищах крутих схилів північно-західної і північно-східної експозицій, водозбірних лійок північно-західної і північно-східної експозицій та зволах. Ареали всихання переважно приурочені до контактних ділянок стрій та урочищ.

Також спостерігається приуроченість певних лісопатологічних явищ до певних урочищ. Наприклад, деревостани уражені некрозом в основному

знаходяться в урочищах гребенів хребтів, крутих пригребеневих схилів і водозбірних лійок в межах цих же схилів.

Проведений аналіз ландшафтно-лісопатологічної ситуації на досліджуваній території свідчить, що найбільша різноманітність збудників

лісопаталогічних процесів характерна для урочищ крутих схилів різних експозицій, оскільки в цих урочищах зустрічаються деревостани, які уражені короїдом-типографом, некрозом та бактеріями, тоді як для інших видів урочищ це не характерно.

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

Література

1. Ващенко В. А. Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші М-35-XXXII (Чернівці) L-35-II / В. А. Ващенко, Т. Л. Свтушко, А. Й. Британ; під. ред. Г. Д. Досин, Ю. М. Веклич; Карпатська серія. Чернівецька, Івано-Франківська, Тернопільська області України. К.: Дочернє підприємство «Західукргеологія», 2003. – 89 с.
2. Гостюк З. В. Ландшафтна структура Покутських Карпат / З. В. Гостюк, А. В. Мельник // Фізична географія і геоморфологія. – 2017. – Вип. 3 (87). – С. 38–47.
3. Геологическая карта масштаба 1:50 000 листи: М-35-134-Б / В. А. Ващенко. – Министерство геологи УССР объединение «ЗАПУКРГЕОЛОГИЯ» Львовская геологорозведочная экспедиция. – Львов, 1968. – 1 лист.
4. Мельник А. В. Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження / А. В. Мельник. – Львів, 1999. – 286 с.
5. Миллер Г. П. Ландшафтные исследования горных и предгорных территорий / Г.П. Миллер. – Львов: Вища школа, 1974. – 202 с.
6. Миллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій / Г. П. Миллер. – К.: ІЗМН, 1996. – 168 с.
7. Погрібний О. О. Пошуки причин всихання деревостанів ялиці білої в НПП «Гуцульщина» / О. О. Погрібний, В. Я. Заячук, Ю. М. Юсипович // Літопис природи НПП «Гуцульщина». – 2018. – Т. 15. – С. 298–303.
8. План лісонасаджень Шешорського ПНДВ НПП «Гуцульщина» / В. В.Крупій, П. С. Ніколайчук, В. М. Копильців. – Державний комітет лісового господарства України Українське Державне Лісовпорядне виробниче об'єднання Львівська державна лісовпорядна експедиція. – Львів, 2004. – 1 с.
9. Проблеми ландшафтознавства в контексті стратегії сталого розвитку та європейської ландшафтної конвенції: тези доповідей науково-практичної конференції (Львів-Ворохта, 3-5 листопада 2017) / Відпов. ред. О. О. Буряник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. – С. 95–97.
10. Слободян П. Я. Лісівничо-екологічні особливості формування осередків всихання *Picea abies* [L.] Karsten в Сколівських Бескидах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та с/г. наук : 06.03.03 / П. Я. Слободян. – Львів, 2003. – 20 с.
11. Таксаційний опис Шешорського ПНДВ НПП «Гуцульщина» Івано-Франківської області / В. В.Крупій, П. С. Ніколайчук, В. М. Копильців. – Державний комітет лісового господарства України Українське Державне Лісовпорядне виробниче об'єднання Львівська державна лісовпорядна експедиція. – Львів, 2004. – 344 с.
12. Усцький І. М. Причини та поширення патологічних процесів в ялинниках України / І. М. Усцький // Лісове господарство. – 2010. – № 5. – С. 165–171.
13. Усцький І. М. Поширення патологічних процесів у лісах України за період 1991–2009 рр / І. М. Усцький, С. І. Мусієнко, П. А. Никитюк // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2015. – Вип. 127. – С. 193–203.
14. Федирко О. Н. Ландшафтне дослідження лісопаталогії (на прикладі Карпат): автореф. дис. на соискание науч. степени канд. геогр. наук: 11.00.01 / О. Н. Федирко. – Киев, 1988. – 16 с.
15. Федірко О. М. Лісопаталогічна ситуація. / О. М. Федірко // Чорногірський географічний стаціонар. – 2003. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка. – С. 92–105.
16. Фондові матеріали Національного Природного Парку «Гуцульщина»: Акт рекогносцирувального лісопаталогічного обстеження насаджень на предмет доцільності призначення заходів з поліпшення санітарного стану лісів / Т. Трибун. – ДСЛП «Івано-Франківськлісозахист». – Косів, 2017. – 24 с.
17. Худинець В. М. Санітарно-лісопаталогічний стан ялинових насаджень Національного природного парку "Синевир" / В. М. Худинець // Лісове та садово-паркове господарство. – 2008. – Вип. 18.1. – С. 50–57.
18. Шевчук В. В., Фомін В. І., Назаренко С. В. Лісопаталогічні процеси та причини їх появи у лісовому фонді на Нижньодністрівських пісках / В. В. Шевчук, В. І. Фомін, С. В. Назаренко // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2006. – Вип. 109. – С. 270–274.
19. Електронний ресурс / Режим доступу: <http://vidpoviday.com/zhuk-tipograf-nebezpechnij-shkidnik-xvoyi>
20. Електронний ресурс / Режим доступу <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B7>

UDC 911.630*4

Zoriana Gostiuk,

Postgraduate Student, Ivan Franko National University of Lviv,
41 Doroshenko Str., Lviv, 79000, Ukraine,

e-mail: zorjanagos@yahoo.com.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5809-4482>;

Anatoliy Melnyk,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,

Head of the Department of Physical Geography, Faculty of Geography,

e-mail: anatolij.melnyk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3029-468X>

FEATURES OF LANDSCAPE AND FOREST PATHOLOGY PROCESSES DIFFERENTIATION IN THE SHESHORY NATURAL SCIENTIFIC RESEARCH DEPARTMENT (“HUTSULSHCHYNA” NATIONAL PARK)

Goal. During fieldwork, the detailed landscape and forest pathology research was carried out at the key site of the Sheshory Natural Scientific Research Department (NSRD) of the Hutsulshchyna National Park. The purpose of these studies was to determine the landscape differentiation of forest pathology processes in the studied area.

Method. The method of landscape field mapping by G. P. Miller and the methodology of research on forest-pathological processes by O. M. Fedirko were used. Arc Map 10 software was used at all stages of the research. The basis of the research was the usage of different cartographic materials, cosmic pictures, plans of plantations, forest-tactical descriptions and forest pathology surveys of the Sheshory NSRD.

Results. As a result of the conducted landscapes and forest pathology researches it has been determined that the largest pathogen of forest pathology processes is the bark beetograph, because it has damaged (37.5%) of the stands, a significant proportion of the stands have been damaged by necrosis (22.6%), armillaria (23.6%), bacteria (15.2%), *Heterobasidion annosum* (1.02%). Total area of natural territorial complexes (NTCs) with affected forest stands is 207.8 hectares (18.8%) of the total area of forest-covered NTCs. The largest proportion of affected trees belongs to ripe strains, the age of which is 80-100 years (33.4%) and medieval – 40-60 years (32.2%). The overgrown forests, whose age is over 100 years old are affected the least (1%).

Trees, which are concentrated in the tracts of steep slopes of the northwest and north-eastern exposition, the drainage basins of the northwest and north-eastern exposition and edgings, suffered the greatest loss. There is a pattern that dry areas are confined to the junction of the NTCs, in this case, the strike and the simple tract.

After analyzing the landscape and forest pathology situation in the studied territory, it has been found that the greatest variety of pathogens in forest pathology processes has steep slopes of different exposures, since within the same tract there are tree species affected by bark beetle, necrosis and bacteria, which is not characteristic for other types of tracts.

Scientific novelty. On the territory of the Pokutsk Carpathians landscape-logging research was carried out for the first time. A landscape map was made on a key plot at the level of terrain, a line and tracts on a scale of 1:25 000, detailed forest pathology studies were carried out within the key area, the spatial arrangement of the areas of dry stands and their area was determined. The percentage of affected areas to the morphological units of the landscape is determined using the Arc Map 10 software. Dependence of forest pathology phenomena distribution on the landscape structure of the territory has been determined.

Practical significance. Materials of research can be used by employees of the scientific departments, employees of the forest protection department of the Hutsulshchyna National Park, the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine in developing recommendations for environmental protection measures in the territory of the Hutsulshchyna National Park and other forest users, the Emergency Department of the Kosiv District Administration, and other structures, concerning nature conservation, recreation and tourism.

Keywords: forest pathology processes, forest wreckers, forest diseases, natural territorial complex (NTC), terrain, tract, woodlands.

References

1. Vashchenko, V. A., Yevtushko, T. L., Brite, A. Y. (2003). *Derzhavna heolohichna karta Ukrainy masshtabu 1:200000, arkushi M-35-XXXII (Chernivtsi) L-35-II / pid. red H. D. Dosyn, Yu. M. Veklych; Karpatska seriia. Chernivetska, Ivano-Frankivska, Ternopil'ska oblasti Ukrainy. [State geological map of Ukraine scale 1: 200000, sheet M-35-XXXII (Chernivtsi) L-35-II subordinate G.D. Dosin, Yu.M. Veclici; Carpathian series. Chernivetska, Ivano-Frankivsk, Ternopil regions of Ukraine]. K.: Subsidiary enterprise "Westukrgeology", 89.*
2. Gostiuk, Z. V., Mel'nyk, A. V. (2017). *Landshafna struktura Pokutskykh Karpat [Landscape structure of the Pokuttya Carpathians]. Physical geography and geomorphology, 3 (87), 38-47.*

3. *Vashchenko, V. A. (1968). Heolohycheskaia karta masshtaba 1:50 000 lysty: M-35-134-B [Geological map of scale 1:50 000 sheets: M-35-134-B]. Ministry of Geology of the USSR, association "Westukrgeology" Lviv geological exploration expedition, Lviv.*
4. *Mel'nyk, A. V. (1999). Ukrainski Karpaty: ekolohe-landshaftoznavche doslidzhennia [Ukrainian Carpathians: Ecological Landscape Studies]. Lviv, 286.*
5. *Miller, G. P. (1974) Landshaftnye yssledovaniia hornnykh y predhornnykh terrytorii [Landscape studies of mountain and foothill areas]. Lviv: Higher school, 202.*
6. *Miller, G. P. (1996) Polove landshaftne znimannia hirskykh terytorii [Field landscaping of mountain territories]. Kiev, 168.*
7. *Pogribnyj, O. O., Zayachuk, V. Ya., Yusypovych, Yu. M. (2018). Poshuky prychnyn vsykhannia derevostaniv yalytsi biloi v NPP «Hutsulshchyna» [The search for the causes of drying of tree stands of the fir is white in the NNP "Hutsulshchyna"]. Chronicle of Nature of the NNP "Hutsulshchyna", 15, 298-303.*
8. *Krupii, V. V., Nikolaichuk, P. S., Kopiltsev, V. M. (2004) Plan lisonasadzhen Sheshorskoho PNDV NPP «Hutsulshchyna» [The plan of forest planting in the Sheshory NSRD of NNP "Hutsulshchyna"]. State Forestry Committee of Ukraine Ukrainian State Forestry Production Association, Lviv State Forestry Expedition, Lviv, 1 p.*
9. *Buryanik, O.O. (2017). Problems of landscape science in the context of sustainable development strategy in Europe. 2017. Theses of the reports of the scientific and practical conference (Lviv-Vorokhta, 3-5 November 2017), Lviv: Publishing Center LNU of Ivan Franko, 95-97.*
10. *Slobodian, P. Ya. (2003). Lisivnycho-ekolohichni osoblyvosti formuvannia oseredkiv vsykhannia Picea abies [L.] Karsten v Skolivskykh Beskydakh [Forests and ecological peculiarities of formation of drying cells Picea abies [L.] Karsten in the Skolivs'ki Beskudu]. Lviv, 20.*
11. *Krupii, V. V., Nikolaichuk, P. S., Kopiltsev, V. M. (2004). Taksatsiinyi opys Sheshorskoho PNDV NPP «Hutsulshchyna» Ivano-Frankivskoi oblasti» [Tactical description of the Sheshory NSRD of the NNP "Hutsulshchyna" in the Ivano-Frankivsk region]. State Forestry Committee of Ukraine Ukrainian State Forestry Production Association Lviv State Forestry Expedition, Lviv, 344.*
12. *Usts'kyj, I. M. (2010). Prychnyny ta poshyrennia patolohichnykh protsesiv v yalynnykakh Ukrainy [Causes and distribution of pathological processes in fir forests of Ukraine]. Forestry, 5, 165-171.*
13. *Usts'kyj, I. M. (2015). Poshyrennia patolohichnykh protsesiv u lisakh Ukrainy za period 1991–2009 rr [Distribution of pathological processes in forests of Ukraine for the period of 1991-2009]. Arboriculture and agroforestry, 127, 193-203.*
14. *Fedirko, O. N. (1988). Landshaftnoe yssledovanye lesopatalohyi (na prymere Karpat) [Landscape research of forest pathology (on the example of the Carpathians)]. Kiev, 16.*
15. *Fedirko, O.M. (2003). Lisopatalohichna sytuatsiia [The forest pathology situation]. Chornohorska Geographic experimental station, Lviv, 92-105.*
16. *Tribun, T. (2017). Fondovi materialy Natsionalnoho Pryrodnoho Parku «Hutsulshchyna»: Akt rekohnostsyruvalnoho lisopatolohichnoho obstezhennia nasadzhen na predmet dotsilnosti pryznachennia zakhodiv z polipshennia sanitarnoho stanu lisiv [Materials of the National Natural Park "Hutsulshchyna": Act of reconnaissance of forest pathological inspection of plots with the purpose of appointment of measures for improving the sanitary state of forests]. DSLP "Ivano-Frankivsk Forest Protection", Kosiv, 24.*
17. *Hudynets, V. M. (2008). Sanitarno-lisopatolohichni stan yalynovykh nasadzhen Natsionalnoho pryrodnoho parku "Synevyr" [Sanitary-forest-pathological conditions of fir forests of the National Natural Park "Synevyr"]. Forestry and gardening, 18.1, 50-57.*
18. *Shevchuk, V. V., Fomin, V. I., Nazarenko, S. V. (2006). Lisopatolohichni protsesy ta prychnyny yikh poiavy u lisovomu fondi na Nyzhnodnistrovskykh piskakh [Forest-pathological processes and the reasons for their appearance in the forest fund on the Lower Dniester sands]. Arboriculture and agroforestry, 109, 270-274.*
19. *Aviable at: <http://vidpoviday.com/zhuk-tipograf-nebezpechnij-shkidnik-xvoyino>*
20. *Aviable at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B7>*

УДК 911.502:005

Аліна Юрїївна Овчаренко,

аспірантка, факультет геології, географії, рекреації і туризму,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, 61022, м. Харків, Україна
e-mail: alina_06@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8500-4152>;

Оксана Вікторівна Залюбовська,

к. геогр. н., доцент, кафедра фізичної географії та картографії,
факультет геології, географії, рекреації і туризму,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
e-mail: bodnia@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4195-9114>

ІНДИКАТИВНИЙ ЛАНДШАФТНИЙ МОНІТОРИНГ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ НПП «СЛОБОЖАНСЬКИЙ»)

У статті представлено вивчення ландшафтних змін території НПП «Слобожанський» в районі заболочених ділянок через проведення ландшафтного моніторингу. Авторами проаналізовано можливість обробки даних за допомогою дешифрування космічних знімків та сучасних ГИС-технологій. Індикативними об'єктами ландшафтного моніторингу було обрано водно-болотні угіддя, а безпосередніми індикаторами – зміни контурів водно-болотних угідь і рослинного покриву. Автори дійшли висновку, що традиційні методи ландшафтних досліджень є надто громіздкими і потребують великих затрат часу, а засоби є застарілими. Аналіз робіт з проведення ландшафтного моніторингу показав, що на сьогоднішній день актуальним і перспективним є використання космічних знімків з відкритих баз даних (Landsat 8, Sentinel-2), які мають просторову роздільну здатність 10-60 м. У статті подано удосконалену методику проведення ландшафтної зйомки на камеральному та польовому етапах дослідження. Для укладання карти-гіпотези було обгрунтовано вибір космічних знімків та експериментально визначено методи їх обробки. Для дослідження обраної території було дешифровано космічні знімки PlanetScore з високою просторовою роздільною здатністю – 3 м. Також авторами запропоновано інструменти для обробки геоданих в програмному середовищі SAGA, ArcGis, QGis. Було встановлено, що найкращі результати для значної території дослідження можна отримати за допомогою знімків Landsat 8, що як результат подає більш генералізоване тематичне зображення, а для невеликої за площею ділянки автори рекомендують використовувати космічні знімки з більш точною просторовою роздільною здатністю. У статті описано етапи ландшафтного картографування та створення бази даних. Експериментально доведено, що найкращі результати дешифрування космічних знімків отримано завдяки проведенню напівавтоматичної класифікації з вибором еталонних (контрольних) ділянок. Безпосередньо в полі процес ландшафтної зйомки представлений авторами як напівавтоматичний з використанням сучасних ГИС-додатків NextGis, ArcGIS. Представлена методика та обгрунтування проведення ландшафтної зйомки у спосіб, описаний в роботі, на думку авторів, є вельми перспективною для проведення ландшафтного моніторингу важкодоступної ділянки водно-болотних угідь в межах природоохоронної території.

Ключові слова: індикативний ландшафтний моніторинг, рослинні угруповання, водно-болотні угіддя, PlanetScore, Sentinel-2, напівавтоматична класифікація, оверлейний аналіз, NextGis.

А. Ю. Овчаренко, О. В. Залюбовская. ИНДИКАТИВНЫЙ ЛАНДШАФТНЫЙ МОНИТОРИНГ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ ПАРКОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРИТОРИИ НПП «СЛОБОЖАНСКИЙ»). В статье представлено изучение ландшафтных изменений на территории НПП «Слобожанский» в районе заболоченных участков путем проведения ландшафтного мониторинга. Авторами проанализированы возможности обработки данных с помощью дешифрирования космических снимков и современных ГИС-технологий. Индикативными объектами ландшафтного мониторинга были выбраны водно-болотные угодья, а непосредственными индикаторами – изменения контуров водно-болотных угодий и растительного покрова. Авторы пришли к выводу, что традиционные методы ландшафтных исследований являются громоздкими и требуют больших затрат времени, а средства являются устаревшими. Анализ работ по проведению ландшафтного мониторинга показал, что на сегодняшний день актуальным и перспективным является использование космических снимков из открытых баз данных (Landsat 8, Sentinel-2), которые имеют пространственное разрешение 10-60 м. В статье представлена усовершенствованная методика проведения ландшафтной съемки на камеральном и полевом этапах исследования. Для составления карты-гипотезы был обоснован выбор космических снимков и экспериментально определены методы их обработки. Для исследования выбранной территории были дешифрованы космические снимки PlanetScore с высоким пространственным разрешением – 3 м. Также авторами предложены инструменты для обработки геоданных в программах SAGA, ArcGis, QGis. Было установлено, что наилучшие результаты для значительной территории исследования можно получить с помощью снимков Landsat 8, что как результат дает более генерализованное тематическое изображение, а для небольшой по площади участка авторы рекомендуют использовать космические снимки с более точным пространственным разрешением. В статье описаны этапы ландшафтного картографирования и создания базы данных. Экспериментально доказано, что наилучшие результаты дешифрирования космических снимков получены после проведения полуавтоматической классификации с выбором эталонных (контрольных) участков. Непосредственно в поле процесс ландшафтной съемки представлен авторами как полуавтоматический с использованием современных ГИС-приложение NextGis, ArcGIS. Представленная методика и обоснование проведения ландшафтной съемки, описанные в работе, по мнению авторов, является весьма перспективной для проведения ландшафтного мониторинга труднодоступных участков водно-болотных угодий в пределах природоохранный территории.

Ключевые слова: индикативный ландшафтний моніторинг, растительные сообщества, водно-болотные угодья, PlanetScore, Sentinel-2, полуавтоматическая классификация, оверлейний аналіз, NextGis.

Постановка проблеми. У наш час необхідно природного середовища є вивчення природно-територіальних комплексів (ПТК) як об'єктів природоохорони і раціонального використання і охорони докористування.

В умовах сучасної господарської діяльності збільшується вплив на функціонування природного середовища, зокрема на ландшафти. Задля збереження природних компонентів та взаємозв'язків між ними створюють природоохоронні території різного ступеня збереження природних ландшафтів. Це питання особливо актуальне щодо національних природних парків (НПП), бо тут на одній території поєднуються природно-антропогенні та природні ландшафти. До того ж основні функції таких об'єктів є суттєво конкурентними, що потребує моніторингу змін наявних ландшафтів.

За визначенням Ізраеля Ю. А. (1978) моніторинг представляє собою систему спостережень, яка дозволяє визначити зміни стану біосфери під впливом антропогенної діяльності [8]. У зв'язку з інтенсивним розвитком техніки і технологій, сільськогосподарського і промислового виробництва, створенням транспортних систем зростає інтенсивність зміни станів усіх компонентів ландшафтів. Це істотно впливає на зміну співвідношення складових радіаційного і теплового балансу, що відбивається на формуванні термічного режиму та режиму вологості повітря та ґрунту, а також на особливостях місцевої циркуляції атмосфери.

Моніторинг зміни ландшафтів неможливо здійснити традиційними методами за короткий час і тотально через різну їх чутливість і пластичність. Тому слід визначити ті локальні об'єкти, які будучи найбільш чутливими, одночасно мають малу пластичність, тому здатні швидко й адекватно реагувати на будь-які зміни. Саме їх ми називаємо індикативними.

Наступна сучасна проблема – реалізація моніторингових спостережень. За сучасних умов, традиційні польові заміри змін видаються ілюзорними через обмеженість матеріальних і людських ресурсів. Отже, залишається єдина можливість – використання дистанційної інформації з відкритих джерел, що дозволяє суттєво зменшити витрати і помітно пришвидшити отримання результатів. Але в такому разі загострюються питання геотехнологій і кваліфікованих кадрів. Саме ця проблема певний час розроблялася авторами на прикладі розробки ландшафтного моніторингу території Слобожанського НПП.

Отже, актуальність роботи полягає в необхідності аналізу існуючого стану ландшафтно-ї структури, на основі обробки даних ДЗЗ для прогнозування подальших змін ландшафтів. Аналіз кліматичних умов та порівняння площі водойм (за даними польових вимірювань та даних космічних знімків Sentinel-2 з 2016 року) показав, що площі водного дзеркала помітно зменшуються.

Метою дослідження є вибір космічних знімків, враховуючи територію дослідження, вибір

оптимальних методів їх обробки для укладання бази даних ландшафтно-ї структури фацій для ландшафтного моніторингу на основі спостережень за декілька років на місцевості, з порівнянням їх результатів із геоданими. Нами обрано, у якості ландшафтних індикаторів, заболочені ділянки території. Їх зміни, за багаторічними спостереженнями, відбуваються у зв'язку з постійним зменшенням водного дзеркала унікальних озер і боліт та їх пересиханням, що проявляється в структурі та станах (аспектах) ландшафту, які можна досліджувати за даними ДЗЗ.

Задля передбачення характеру змін необхідним є проведення моніторингу стану ландшафтних угруповань на рівні фацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвинених країнах Європи (Німеччині, Франції, Великій Британії) практикується проведення моніторингу окремих компонентів ландшафту (моніторинг рослинного покриву, ґрунтового покриву, моніторинг стану атмосфери) [24]. Дослідження з використанням сучасних ГІС-технологій, у тому числі і даних ДЗЗ характерне для США (в пустелі Сонора штату Арізона) [31], Австралії та інших країн, які мають значні за територіальних охопленням охоронювані території [22].

За допомогою космічних знімків визначають різні характеристики рослинного покриву території. В дослідженнях американських та європейських вчених було визначено індикатори біорізноманіття в залежності від рівня ландшафтно-ї організації території [25] та ландшафтні індикатори для оцінки біорізноманіття [21, 26].

Наше дослідження проводиться на території заболоченої місцевості. В Україні інформація про стан боліт несистематизована, носить епізодичний характер досліджень. Зокрема, відомою є робота Ільїної О. В. щодо боліт в межах природоохоронних територій Волині [9, 10].

Удосконалення методів тематичної інтерпретації геологічних, гідрогеологічних, ґрунтових, біогеографічних та інших явищ, встановленні їхніх інформаційних ознак на зображеннях та оцінці їхніх декодувальних можливостей та обмежень, способах опису зображень дозволяє створювати моделі ландшафтних явищ [6, 7, 11].

Дешифрування космічних знімків як автоматизований спосіб розпізнання описане в роботі Мухи Б. П., Байрак Г. Р. [1].

Дослідження окремих компонентів ландшафтів із використанням космічних знімків Sentinel-2 та PlanetScope (які були обрані для нашого дослідження) проводились: І. Ф. Романчуком, О. І. Сахацьким та О. А. Апостоловим - оцінено вологість ґрунту на прикладі Баришівського полігону Київської області за допомогою даних Sentinel-2 [16]; методом автоматичного дешифрування Sentinel-

2, Ю. І. Перепечина, О. І. Глушенков і Р. С. Корсіков визначали показники лісів за допомогою обробки даних Sentinel-2 [15]; А. П. Богданов, Р. А. Алешко у своїй роботі представили методику обробки космічних знімків Sentinel-2 для виявлення ознак погіршення фізіологічного стану окремих дерев чи деревостану [2]; компанія «Совзонд» представила результати використання космічних знімків PlanetScore для аналізу ходу і наслідків затоплення населених пунктів при повеннях [2]. Лісовий моніторинг з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технологій проводив М. П. Слободяник [17].

За програмою проведення наземного моніторингу («Terrestrial Monitoring Program») описано методи дослідження, в тому числі ідифікацію рослинних угруповань в межах важкодоступних заболочених територій та загалом території дослідження за допомогою дешифрування ландшафтних одиниць за даними космічних знімків та сучасних ГІС-програм [28].

Екосистемний моніторинг, проведений з використанням властивостей мультиспектральних характеристик супутникових каналів, методи обробки інформації за допомогою ГІС і результати цифрових змін на різночасових знімках, описані в роботах дослідників Бельгії, Німеччини [18, 30].

Практичні основи використання ДЗЗ для реалізації ландшафтних екологічних проектів ландшафтної екології через поєднання кількісних та якісних польових вимірів та геопросторового аналізу, моделювання динаміки ландшафтів внаслідок взаємодії їх природної та антропогенної складової описані в роботах Томаса Хое, Пітера Х. Вербурга, Томаса Р. Лавленда [20], Д. Лопеза, Ц. Фрона [27].

Для нашого дослідження необхідним є досвід щодо методу класифікацій за даними космічних знімків. Аналіз основних компонентів для ідифікації напівавтоматично ландшафтної структури і кластерного аналізу для групування компонентів представлено в роботі дослідників США [19, 23].

У Харківській університетській географічній школі було розроблено і апробовано по відношенню до об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) регіону Лівобережної України засоби комплексної ландшафтної зйомки з послідовним використанням ДЗЗ (Балинська М.О., Третьяков О.С., Сінна О. І., Бодня О. В., студентські роботи Бурдун Ю., Олійникова І., Овчаренко А. та інші) [3,4,5,14,15].

Методологія і методи. Ландшафтні дослідження, якщо вони виконуються традиційними методами, є процесом надто громіздким, а засоби – дещо застарілими. Основними перевагами використання ДЗЗ для укладання ландшафтних карт є актуальність даних на момент дослідження,

висока точність визначення меж об'єктів, більш високий ступінь об'єктивності виділення об'єктів і віднесення об'єкта до певного таксону. Крім цього використання ДЗЗ дозволяє скоротити обсяг наземних спостережень і таким чином скоротити терміни дослідження. За останні 45 років просторове та спектральне розширення космічних знімків значно збільшилося, просторова роздільна здатність окремих їх видів становить 1 м і характеризується гіперспектральним функціоналом, що сприяло удосконаленню системи зйомок. У співтоваристві наук про Землю дистанційне зондування стало важливим інструментом для картографування і проведення моніторингу ландшафтів земної поверхні від глобального до місцевого рівнів [32]. Різнобічний аналіз даних ДЗЗ, здійснений авторами [2, 4, 5, 13, 14] дозволив пересвідчитися в тому, що крім хіба що контурів водноболотних угідь, які чітко ідентифікуються і легко порівнюються на різночасових знімках, найбільш індикативними є рослинний покрив. Він достатньо надійно визначається за характерними ознаками у поєднанні відповідних спектральних діапазонів та структурою зображення [4, 5]. До того ж, зміна рослинності дозволяє візуально визначити зміни ландшафтних угруповань і швидкість перебігу цих змін.

Такий підхід, застосований сучасними дослідниками [2, 3, 5] і неодноразово перевірений авторами на тестових ділянках, є вельми перспективним за отримуваними точністю, оперативністю й рівнем технологічності, тому вважається нами інноваційним.

Явною перевагою застосування технологій автоматичного дешифрування ДЗЗ є довідність (прозорість) одержуваних результатів картування на основі комплексного використання дистанційної інформації у поєднанні з застосуванням польової зйомки.

Отже, обґрунтовано й перевірено наступну послідовність дій для досягнення мети ландшафтного моніторингу з використанням ДЗЗ у поєднанні з польовими дослідженнями фацій на ключових ділянках:

1. Вибір певних оптичних каналів та їх доцільних комбінацій на основі польової ідентифікації виділів (рівня фацій) і порівняння з синтезованими оптичними образами ділянок.

2. Просторове розширення космічних знімків, яке полягає у застосуванні процесу Pansharping для космічних знімків Landsat 8.

3. Випробування відомих методів класифікації ландшафтних угруповань задля їх застосування щодо геоданих космічних сканувань Sentinel-2 та PlanetScope, з використанням результатів п. 1.

4. Оверлейний аналіз існуючих геоданих, класифікацію та оптимізацію кількості класів для укладання карти-гіпотези досліджуваної території.

5. Подальшу перевірку виділених контурів на місцевості, з уточненням вибору оптимальних методів дешифрування ландшафтної структури та фіксації змін контурів ідентифікаційних об'єктів.

6. Розпізнавання рослинних угруповань та спектральних способів, відстежування зміни їх стану (з урахуванням сезонних аспектів рослинності).

Вибір даних ДЗЗ. Космічні знімки Sentinel-2 та Planet Scope – це дані ДЗЗ, що дозволяють з більшою точністю (на відміну від Landsat 8) інтерпретувати відображені характеристики. Авторами експериментально перевірено доцільність використання різних видів даних ДЗЗ для виконання конкретних завдань дослідження.

Активно у дослідженнях використовують Sentinel-2, так як з 2015 року ці дані відкриті і мають роздільну здатність – 10-60 м. Рідше у літературі зустрічаються роботи із використанням знімків PlanetScope, які передають детальність 3 м. Вони не доступні без надання запитів за вимогою дослідження. Тому для проведення індикативного ландшафтного моніторингу авторами пропонується використовувати космічні знімки Landsat 8, Sentinel-2, які включають 13 спектральних каналів в видимій, ближній інфрачервоній (VNIR) та короткохвильовій зонах спектру (SWIR). Кожний канал має різне розширення. Для території НПП «Слобожанський» авторами подані результати дешифрування знімків PlanetScope, які були надані за запитом.

Особливості обробки космічних знімків Landsat 8. Landsat 8 – космічні знімки з роздільною здатністю 15 та 30 м. Обробка даних дозволяє отримати цілісну ландшафтну структури природоохоронної території. Для території НПП «Слобожанський» було використано напівавтоматичну класифікацію для розпізнавання рослинних угруповань, які є індикаторами ландшафтної структури рівня фацій.

Цей метод в програмному забезпеченні SAGA полягає в створенні еталонних зразків для дешифрування різних типів фацій. Необхідно обрати декілька зразків одного типу фацій, які потім будуть розпізнані самою програмою по всій досліджуваній території.

Було взято за основу цифрові дані знімка з просторовою роздільною здатністю 15 м як більш інформативного. Для виділення окремих еталонних ділянок було створено новий shape-шар – training areas: Geoprocessing-Shapes-Construction – «Create New Shape Layer».

На знімку було виділено по декілька зразків

для ідентифікації:

1) Обрання шару для редагування та відображення на карті (Select layer to be edited and show it in a map); 2) приведення в режим роботи з картою (Switch to «Action» mode for the map); 3) в контекстному вікні на карті обрано «Додати шар» (Call the context menu for the map and choose «Add Shape»); 3) додати ще зразок полігону в тому ж шарі (Add part); 4) відредагувати обраний шар (Edit Selected Shape).

Для кожної виділеної групи було надано, з ландшафтно-географічних міркувань, тип рослинності, й кожному з них було присвоєно певний колір. У результаті було отримано атрибутивні дані, які можна вносити в легенду майбутньої карти-гіпотези.

Після цього, проведено класифікацію за отриманими еталонами. Кількість виділених еталонних ділянок прирівнювалась до кількості класів в класифікації: Geoprocessing-Imagery-Classification-Supervised Classification (порівняльна табл. 1).

Для порівняння було обрано два типи методів: «Parallelepiped» і «Spectral Angle Mapping».

Співставлення з відомими еталонами пересвідчило, що кращим для візуалізації є метод «Spectral Angle Mapping», який надалі було обрано для створення карти-гіпотези. Після застосування цього методу було проведено ряд дій із застосуванням фільтру Majority Filter декілька разів.

Результуюче зображення було конвертовано в TIFF-формат для його подальшої векторизації та обробки в QGIS або ArcGIS (рис. 1).

Отримано позитивний результат співставлення, що підтвердило вірогідність ідентифікації фацій. На основі створених растрових зображень в RGB-composite автором (уперше в такий спосіб) було виділено такі класи (табл. 1).

В 2014-2015 рр. отримані дані уточнювалися, і паралельно оброблялася інформація про північну частину парку, використовуючи вже відпрацьовану методику дослідження.

Використання методу класифікації для дешифрування космічних знімків дало можливість отримати інформацію про сучасний стан рослинного покриву території парку. Саме на основі його результатів було укладено карти рослинного покриву окремо для північної та південної частин парку (рис. 2).

Методом оверлейного аналізу було об'єднано мезо- та мікроформи рельєфу, типи ґрунтів та четвертинні відклади. Така комплексна характеристика природних компонентів необхідна для створення ландшафтної карти.

Було експериментально доведено, що для кращого виділення фацій в умовах складної ланд-

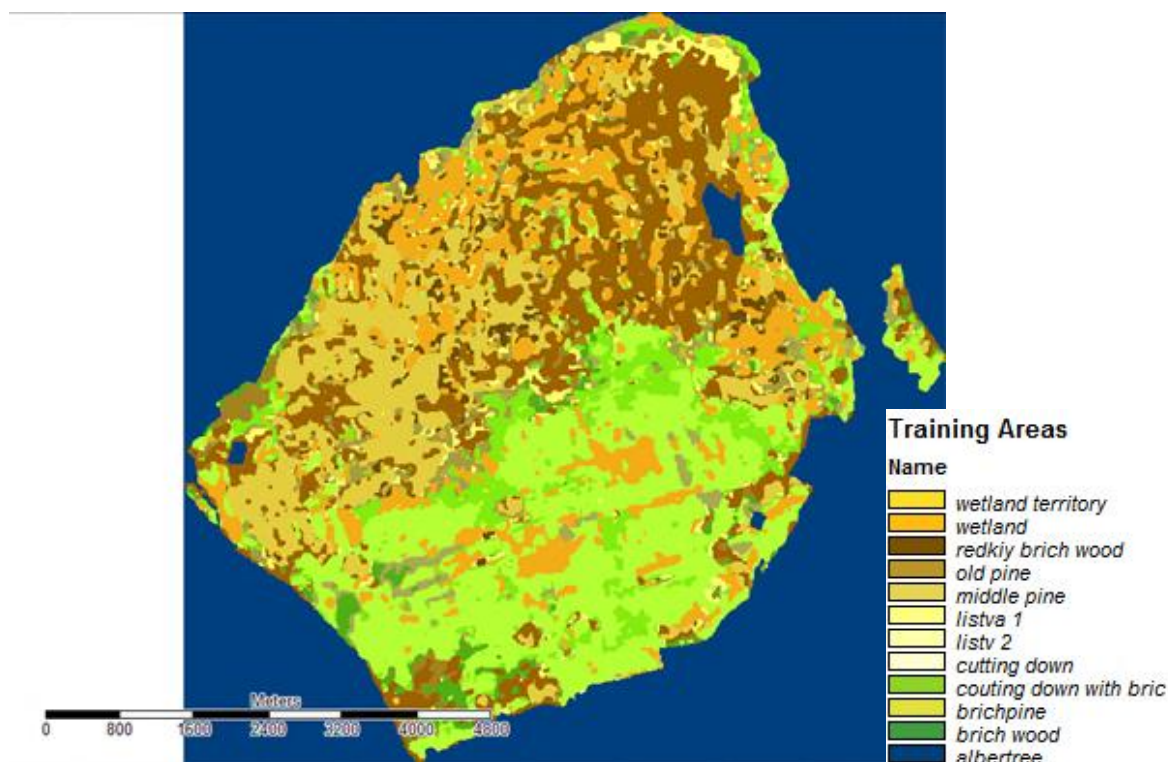


Рис. 1. Результати дешифрування, отримані шляхом автоматичної ідентифікації в програмі SAGA

Таблиця 1

Виділення типів рослинності на знімках в комбінації каналів 5, 4, 3

| Назва рослинних угруповань | Кольори виділення фацій на знімках | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| | З просторовою роздільною здатністю 15 м | З просторовою роздільною здатністю 30 м |
| Вільшаник | Яскраво-червоний в західній частині знімка | Рожевий в західній частині знімка |
| Відкриті та майже відкриті болота | Світло-бірюзові вкраплення | Темно-зелені вкраплення |
| Поросла болотиста місцевість | Салатовий | Салатовий |
| Вирубки, порослі молодою сосною | Темно-зелений | Бірюзовий |
| Молодий сосновий ліс | Бірюзовий | Світло-зелений |
| Середньорічний сосновий ліс | Бірюзово-голубуватий | Зелений |
| Старий сосновий ліс | Синюватий | Синюватий |
| Березняк | Червоний | Рожевий |

шафтної структури, притаманної території НПП «Слобожанський», варто застосовувати класифікацію з навчанням, представлену методом спектрального кута («Spectral Angle Mapping»).

Таку методику дослідження можна застосувати для виділення окремих ландшафтних угруповань будь-яких об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ).

Проведення класифікації з використанням еталонних ділянок за даними космічних знімків Sentinel-2. Було експериментально доведено, що для кращого виділення фацій в умовах

складної ландшафтної структури, притаманної території НПП Слобожанський», варто застосовувати напівавтоматичну класифікацію.

Для проведення класифікації з використанням еталонних ділянок було обрано територію дослідження в районі заболоченої місцевості в південній частині парку (рис. 3).

Для роботи з космічним знімком першочерговим завданням є підготовка тематичних зображень кожного спектрального каналу. Зокрема, використовуються можливості інструменту Semi Automatic Classification Plugin програмного

забезпечення QGIS. Перед початком роботи з каналами проводиться атмосферна корекція, яка дозволяє виключити частину похибок,

спричинених хмарами, які можуть сильно впливати на якість результуючого тематичного зображення.

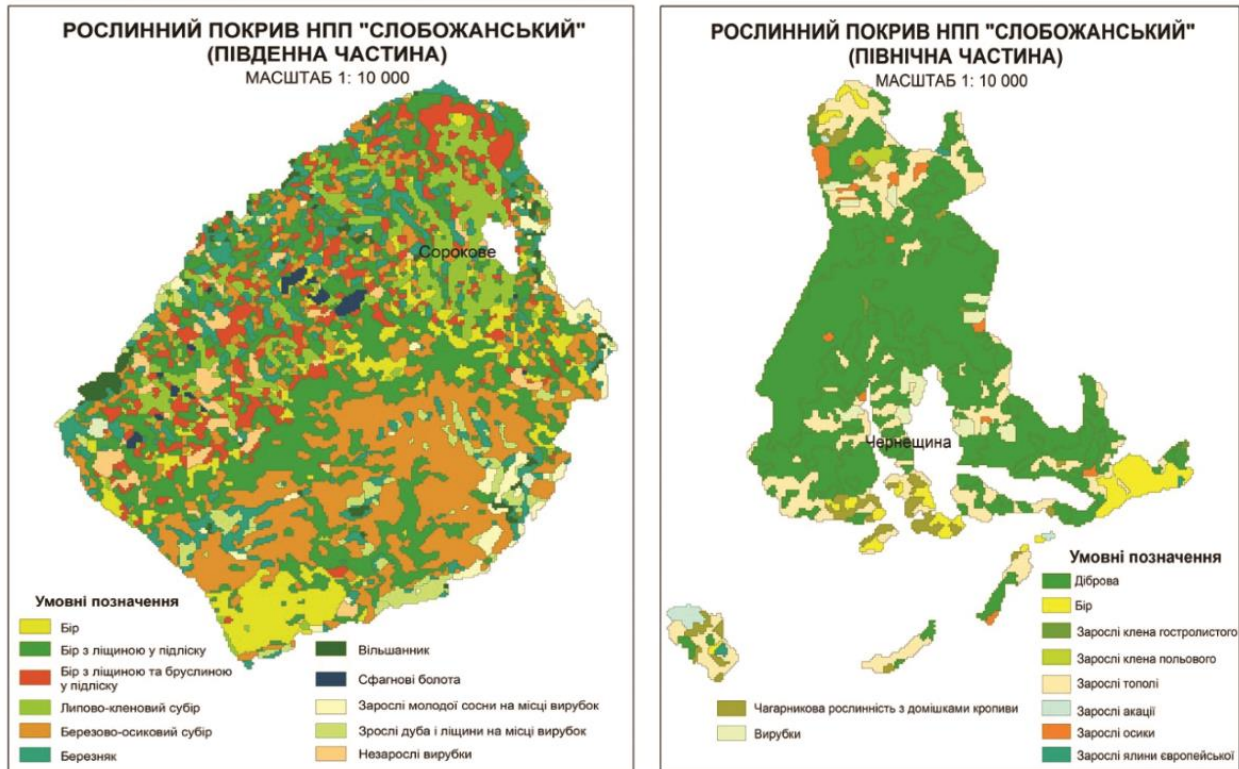


Рис. 2. Рослинний покрив (масштаб зменшено)



Рис. 3. Обрана територія дослідження (космічний знімок Sentinel-2 за 06.08.15)

У ході дослідження авторами проведено ідентифікацію ландшафтних угруповань за даними космічних знімків Sentinel-2, починаючи з 2015 року. Представлені результати досліджень за перші 2 роки: 06.08.15, 31.07.16. У ході практичного виділення класів було встановлено, що оптимальні результати можна отримати виділенням 7 класів.

При дешифруванні космічних знімків важливо обрати метод класифікації в залежності від конкретних задач дослідження. Застосування методів подальшої обробки (фільтри) дозволяють виключити шуми і генералізувати виділи в межах

значної території (фільтр Majority). Для більшої точності використовується метод Spectral Angles при класифікації. Проте для території дослідження він створює мозаїчну структуру. Авторами був використаний метод мінімальних відстаней –Nearest Neighbor (рис. 4).

Як результат було отримано тематичний шар рослинних угруповань станом на 06.08.15 (а), 31.07.16 (б) (рис. 5).

Для знімків за різні роки було використано один метод дешифрування і заданий один тренувальний шейп-файл. Проте, космічний знімок за 31.07.16 потребує посткласифікаційної обробки,

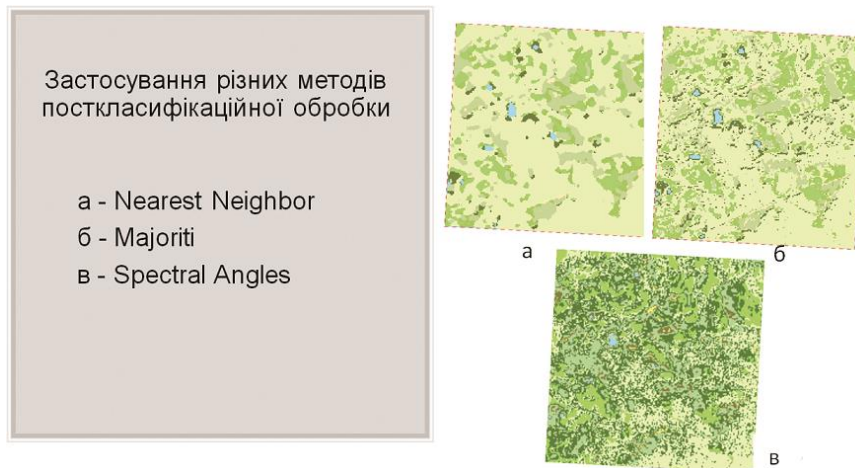


Рис. 4. Застосування методів посткласифікаційної обробки (тут і далі кут відхилення осі зображення від вертикалі відповідає куту відхилення при різних методах обробки)

так як в клас «відкрите водне дзеркало» потрапили тіні від хмар (рис. 5 (б)).

Візуально тематичні зображення за досліджуваними періодами різні, що може бути спричинено наявністю тіні від хмар, різними кліматичними умовами, що могло вплинути на фази фотосинтезу та стадію вегетації різних видів рослин та різницею в періодах років.

Растрові файли в подальшому конвертують у шейп-файли для проведення в подальшому оверлейного аналізу (Conversion Tools – From Raster – Raster To Polygon). Цей процес не передбачає збереження атрибутивних даних (єдина система класів).

Отже, класифікація космічних знімків Sentinel-2 дозволяє дешифрувати територію з більшою точністю, ніж космічні знімки Landsat 8, проте детальність тематичного зображення може надавати території мозаїчну структуру і потребує генералізації.

Проведення класифікації з використанням еталонних ділянок за даними космічного знімка PlanetScope. Космічний знімок PlanetScope – це космічні знімки високої роздільної здатності (3 м), які дозволяють класифікувати географічні об'єкти з високою точністю в межах невеликої території дослідження. Результат на значну територію має бути генералізовано. Для порівняння тематичне зображення космічного знімку PlanetScope візуально подає більш точну ситуацію, порівно з космічними знімками Sentinel-2 (рис. 6).

Для досліджуваної території НПП «Слобожанський» було обрано космічний знімок за 22.05.17 (рис. 6 (б)), де територія за цей період не є захищеною.

Для проведення класифікації використовувався метод напівавтоматичної класифікації, в основу якої було покладено ділянок, ті ж, що і для

проведення класифікації за космічними знімками Sentinel-2 за різні часові періоди.

У результаті було отримано тематичне зображення. Для генералізації дослідження застосовано метод Boundary Clean серед інструментів Arc toolbox (рис. 7).

У результаті була отримана карта рослинних угруповань (рис. 8).

Отриманий тематичний шар конвертують у векторний формат. Порівнюючи результати дешифрування досліджуваної території виявлено, що для конкретної ділянки дослідження, яка потребує деталізації, найкращі результати (більш точні) отримані за даними космічного знімка PlanetScope (детальні контури рослинних угруповань). Якщо ділянка дослідження потребує більшої генералізації, кращі результати дозволяють отримати дані Sentinel-2. Результати класифікації в подальшому конвертують в шейп-файл як набір даних оверлейного аналізу для укладання карти-гіпотези.

Для прикладу авторами викладено методику укладання ландшафтної карти-гіпотези, використовуючи дані тематичного зображення рослинних угруповань за даними PlanetScope.

Процеси посткласифікації для генералізації виділених контурів. Класифікація з навчанням, проведена на основі космічного знімка PlanetScope подає мозаїчну структуру рослинних угруповань та гідрографічних об'єктів (боліт). Для уникнення незначних і досить детальних ділянок дешифрування проводяться процеси генералізації змісту тематичного зображення.

У таблиці атрибутів за допомогою Calculate Geometry автоматично підраховується площа кожного контуру. Для того, щоб генералізувати тематичний зміст, необхідно контурам, які займають невелику площу присвоїти атрибут території, яка просторово знаходиться ближче і є переважачою.

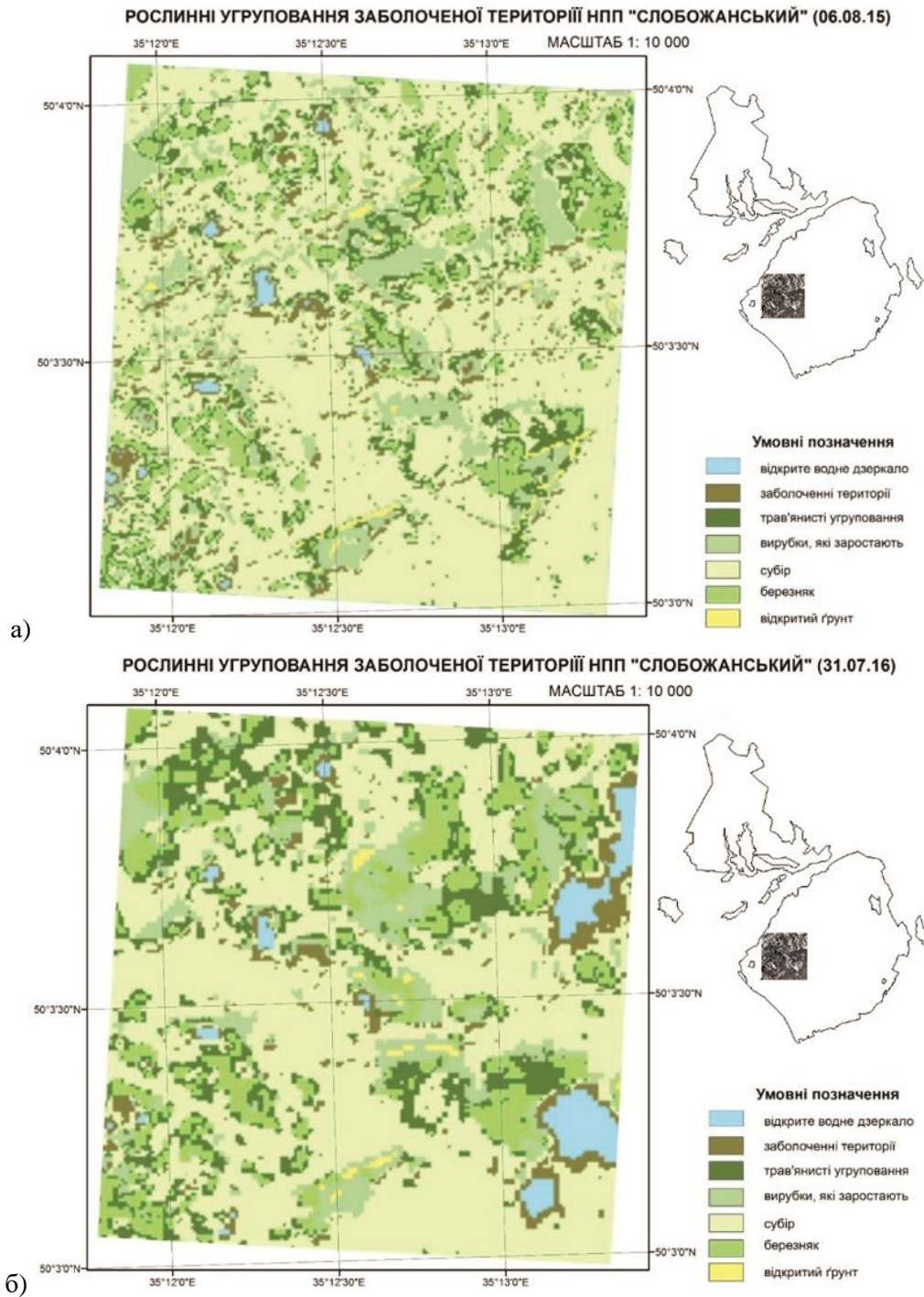
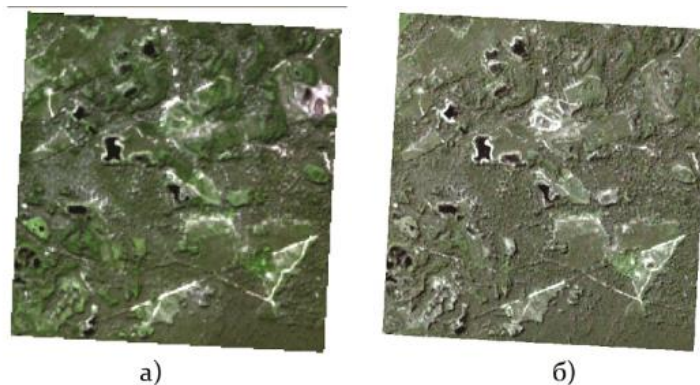


Рис. 5. Карта рослинних угруповань по датах: а – 06.08.15, б – 31.07.16 (укладені автором)



а)

б)

Рис. 6. Візуальне представлення території дослідження на космічних знімках:
а – Sentinel-2 (21.06.2018), б – Planet Scope (22.05.17)

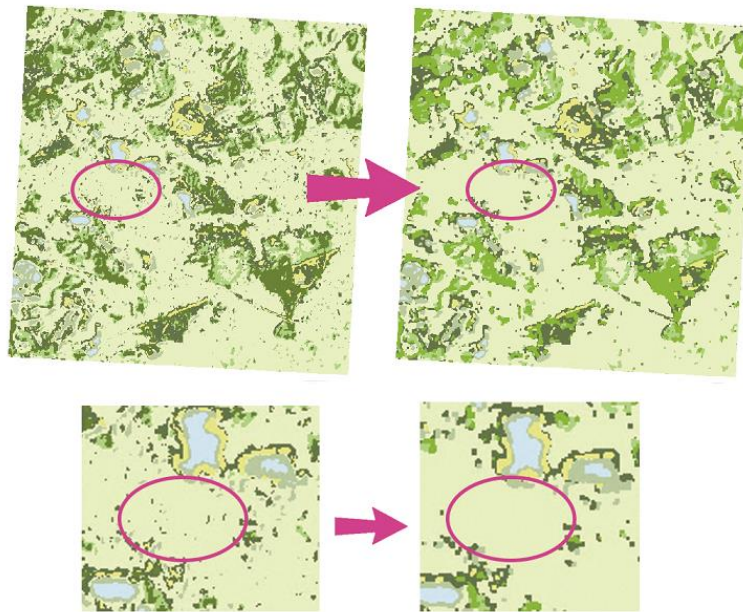


Рис. 7. Застосування методу Boundary Clean

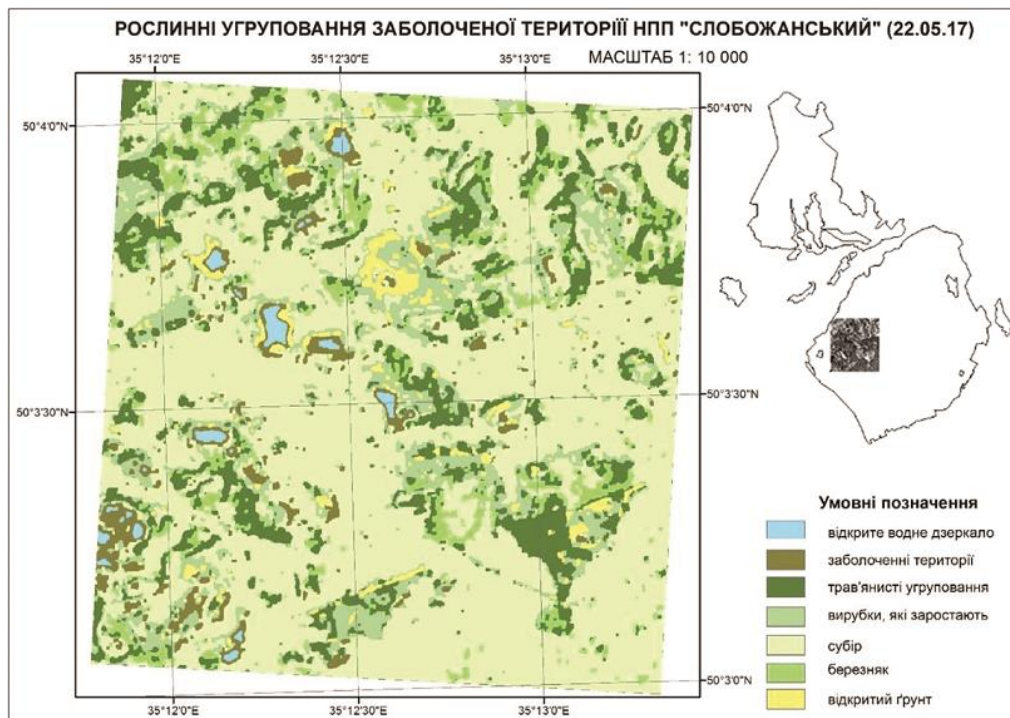


Рис. 8. Карта рослинних угруповань станом на 22.05.17 (укладена автором)

Контури з однаковим атрибутом контурів об'єднують Editor–Merge. У результаті отримано генералізоване тематичне зображення дешифрованих контурів рослинності та гідрографії (рис. 9).

Оверлейний ГІС-аналіз. На основі попередньо отриманих даних, проводився оверлейний аналіз. Для проведення оверлейного аналізу необхідними етапами є збір, систематизація та просторова прив'язка даних, створення геоінформаційної бази даних та проведення просторового аналізу на основі результатів попередніх етапів. Укладання ландшафтної карти неодмінно супровод-

жується створенням бази даних, яка б включала всі необхідні аспекти дослідження території НПП.

На відміну від традиційної методики «накладання» один на одного двох або більше картографічних зображень, застосовуваної у ландшафтному аналізі, на основі ГІС-технологій він полягає у напівавтоматизованому піксельному накладанні геоданих експериментально визначених оптичних шарів. У такий же спосіб подається атрибутивна інформація. Для її отримання використовували топографічну карту, геологічну карту, карту ґрунтового покриття, четвертинних відкладів

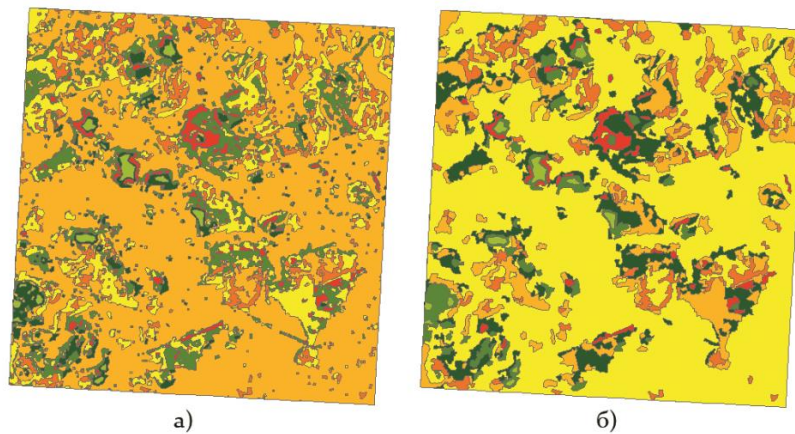


Рис. 9. Результати класифікації до (а) та після (б) проведення генералізації

на основі яких було отримано векторні шари і укладено тематичні карти по кожному із компонентів.

У подальшому результати конвертовано в ArcGis. На основі зібраних даних було проведено оверлейний аналіз, методом автоматичного накладання всіх шарів в просторовому відношенні. Застосування інструментів оверлейного аналізу в ArcGIS 10.2 дозволяє суттєво прискорити процес ландшафтного картографування в камеральних умовах. Задля його проведення необхідним було просторове збирання даних векторизації та атрибутики в єдину базу геоданих.

Об'єднання атрибутивної інформації проведено, з врахуванням просторової особливості розташування шарів рослинності (векторизація растрового файлу) та шейп-файли рельєфу, геології та четвертинних відкладів і ґрунтового покриття за допомогою інструменту Intersect.

Використання інструменту Intersect дозволяє визначити геометричний перетин вхідних об'єктів. Об'єкти або частини об'єктів, які перекриваються у всіх шарах і/або класи просторових об'єктів приєднуються у вихідний клас об'єктів [5].

Даний метод був використаний тому, що саме він дозволяє сформувати для кожного контуру атрибутивну інформацію на основі всіх зібраних даних та з урахуванням порядку шарів, що накладаються. На відміну від нього, наприклад, інструмент Об'єднання (Union), створює нове покриття шляхом накладання лише двох полігональних покриттів. Вихідне покриття містить об'єднані полігони та атрибути обох покриттів [4].

Результат застосування інструменту Intersect - єдиний шейп-файл, що містить контури (які співпадають з контурами рослинних угруповань за різні дати), а також атрибутивну інформацію по мезо- та мікроформам рельєфу, типам ґрунтів, четвертинним відкладам. Так, як дослідження передбачає проведення моніторингових досліджень, то шейп-файл містить окремий набір атрибутивних даних рослинних угруповань станом на

22.05.17.

Всю необхідну інформацію (рослинність, рельєф, геологію та четвертинні відклади і ґрунтовий покрив) було об'єднано в одному стовпці атрибутивної таблиці Landscape за допомогою інструменту Field Calculator. Використання інструменту Field Calculator полягало в математичному додаванні атрибутивної інформації.

Формула, що була прописана для поєднання стовпців «forms_of_relief», «lithology», «soil», «plants» виглядала так: $landscape = [forms_of_relief] + [lithology] + [plants] + [soil]$ [29]. Створюється стовпець landscape.

У результаті отримано шейп-файл, що містить контури та атрибутивну інформацію до кожного контуру, що містить робочу назву ландшафту (рис. 10). Наприклад: «дрібногорбисті рівнини першої надзапальної тераси еолові відклади субір дернові оглеєні піщані і супіщані ґрунти давньоалювіальні відклади».

Для уникнення повторів використовують Dissolve (злиття за атрибутом), що дозволяє поєднати не тільки об'єкти, що мають спільний атрибут, а й об'єкти, що мають спільний атрибут, але є топологічно розрізнені. Після застосування інструменту Dissolve було отримано 11 контурів.

Отже, оверлейний аналіз дозволяє створити композицію ландшафту на будь-який часовий відрізок, необхідний для дослідження.

Як результат, утворюється просторова числова модель, до якої застосовуються методи автоматичної класифікації [3]. Для візуального контролю результатів класифікації, її складові знову порівнюються з результатами польових зйомок на ключових ділянках.

Результатом оверлейного аналізу стала ландшафтна карта-гіпотеза рівня фацій (рис. 11).

Використання космічних знімків дозволяє створювати базу даних та укладати карти досліджуваної території для вирішення конкретних задач на момент часу, який корисний для дослідника на основі проведення ландшафтного моні-

| intersect | |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| vg22_05_17 | landscape |
| bir | Плоскі рівнини заплавиАлювіальні відкладиПіски, суглинки, суглинки заплав річокbirДернові оглеєні піщані і глинисто піщані на сучасні |
| bereznyak | Плоскі рівнини заплавиАлювіальні відкладиПіски, суглинки, суглинки заплав річокbereznyakДернові оглеєні піщані і глинисто піщані на |
| moloda sosna | Плоскі рівнини заплавиАлювіальні відкладиПіски, суглинки, суглинки заплав річокmoloda sosnaДернові оглеєні піщані і глинисто піщані |
| bir | Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної терасиЕолово-делювіальні відклади верхньої ланки неоплейстоценуСуглинки с |
| sosna s domishkami berezi | Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної терасиЕолово-делювіальні відклади верхньої ланки неоплейстоценуСуглинки с |
| bir | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| bereznyak | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| moloda sosna | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| sosna s domishkami berezi | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| vidkritiy grunt | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| vodne dzerkalo | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |
| bir | Плоскі рівнини заплавиАлювіальні відкладиПіски, суглинки, суглинки заплав річокbirДернові оглеєні піщані і глинисто піщані на сучасні |
| bir | Дрібногорбисті рівнини першої надзаплавної терасиЕолові відкладиПіски зв'язані кварцеві крупнозернисті, кутастообкатані, що утвор |

Рис. 10. Поле атрибутивної таблиці єдиного шейп-файлу, що містить 13 контурів та атрибутивну інформацію до кожного контуру

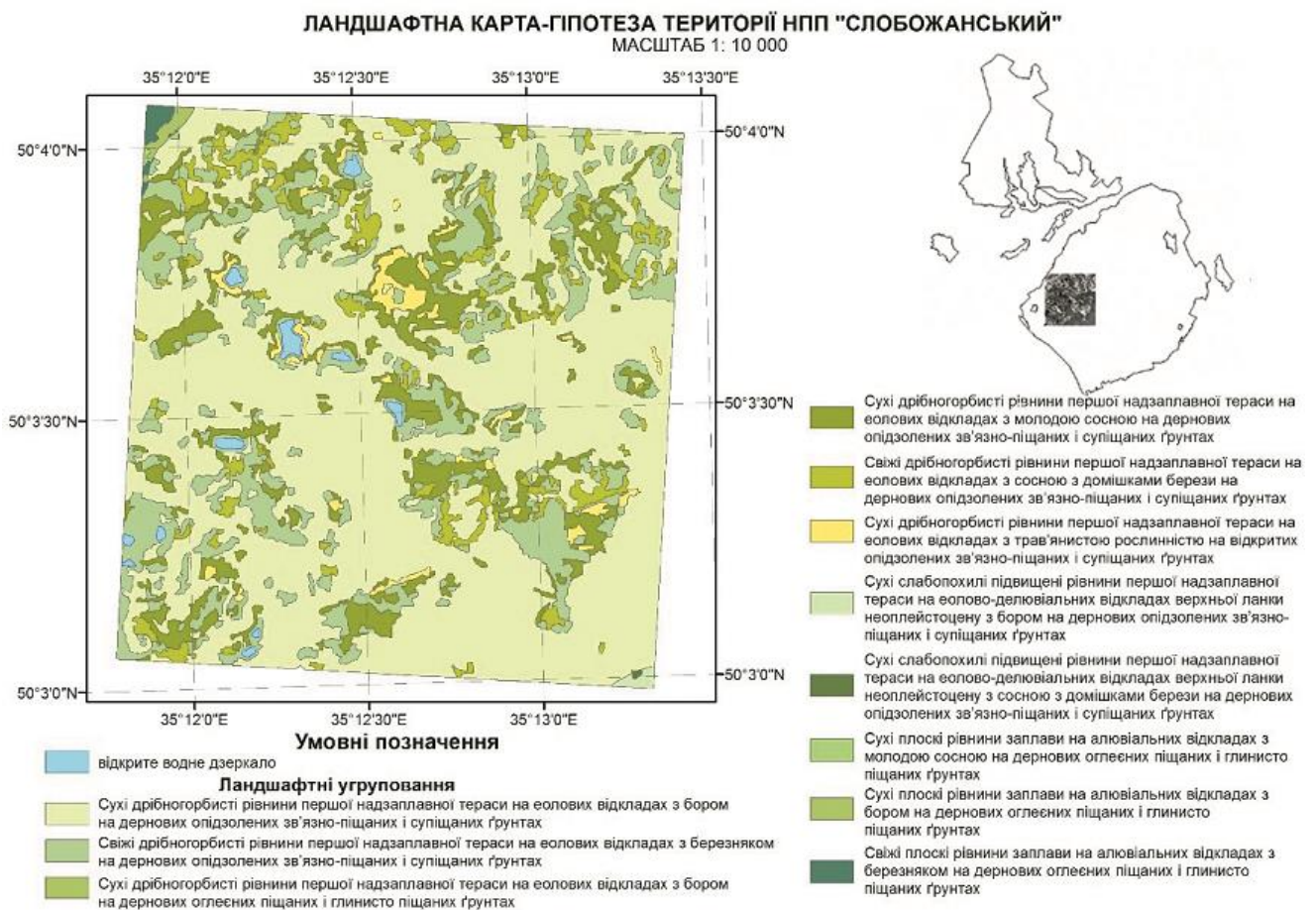


Рис. 11. Ландшафтна карта-гіпотеза (рівня фацій) (укладена авторами)

торингу (рис. 12).

Перевірка контурів ландшафтних угруповань на місцевості. Перевірити правильність автоматично виділених контурів безпосередньо в польових умовах є одним із важливих етапів ландшафтних досліджень.

Традиційно польові дослідження проводяться з використанням бланків фацій у паперовому вигляді. У сучасних умовах ландшафтні дослідження включають напівавтоматизований збір

фактичного матеріалу в польових умовах. Завдяки використанню різноманітних мобільних ГІС-додатків розповсюдженим є збір фактичного матеріалу або уточнення контурів, виділених автоматично, безпосередньо в полі напівавтоматично. Необхідну інформацію автор заносить до електронної версії мобільного додатку зазвичай у вигляді таблиці, поля якої готуються завідома в камеральних умовах перед початком роботи.

Одним із таких додатків є NextGIS. Ця ГІС-програма працює з QGIS і дозволяє створювати, управляти, аналізувати набір даних з візуалізацією матеріалів у вигляді картографічних творів.

Використання інструментів NextGIS дозволяє створювати проекти із полями, які потім заповнюють безпосередньо в польових умовах (рис. 13) [4].



Рис. 12. Схема можливостей застосування космічних знімків для ландшафтного моніторингу

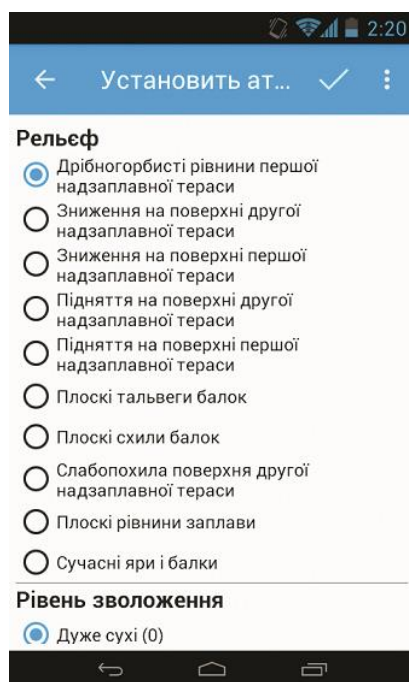


Рис. 13. Атрибутивна інформація в програмі NextGIS (вибір значення для дуже сухої дрібногорбистої рівнини першої надзаплавної тераси)

Під час маршрутного знімання використовувались також пристрої Trimble, які оснащені GPS-навігаторами. За допомогою функціоналу програми ArcPad можна відмітити точки переходу фацій та відповідно занести до атрибутивної таблиці інформацію про характеристику фації.

Програма ArcPad являє собою міні-ГІС, адже, дозволяє створювати шейп-файли безпосередньо в полі, редагувати існуючі [5].

Польові дослідження, з використанням програм ArcPad та NextGIS проводилися автором для

економії часу та поєднання напівавтоматичної роботи на всіх етапах.

Висновки. Отже, авторами досліджено необхідність і можливість використання сучасної космічної інформації для уточнення контурів та наповнення ландшафтних виділів та для прослідкування змін водно-болотних об'єктів, які мусять бути індикаторами моніторингу.

Індикативними об'єктами ландшафтного моніторингу є водно-болотні угіддя, а безпосередніми індикаторами виступають два: контури

водно-болотних угідь і зміна аспекту рослинного покриву.

Способом моніторингу є мультиспектральний аналіз зображень, отриманих шляхом обробки комбінацій спектральних каналів, що показало можливість визначити зміни виділів, враховуючи відбивну здатність поверхні. Показано, що необхідною умовою отримання адекватної інформації є кваліфіковане визначення спектральних каналів за даними космічних знімків і аналізу тематичних зображень в різних комбінаціях каналів та обґрунтоване на основі еталонних польових зйомок тестових ділянок застосування індикаторів.

Обмеженнями застосування методу є наступні:

- Поки що не встановлений спосіб прискіплого аналізу зміни структури рослинного покриву, який спостерігається візуально, але не відбивається інструментально.

- Неможливість врахування випадкових особливостей стану території (вітер, зволоження після дощу тощо, які впливають на оптичний образ, відтворений за даними часу) і космічного сканування у певний момент, який є цікавий для дослідження.

Експериментально визначено застосування космічних знімків Sentinel-2 та PlanetScope (13 оптичних каналів, періодичність сканування 2-3 дні, роздільна здатність до 3 м на місцевості), які є найпридатнішими для високоточного моніторингу, та PlanetScope для невеликої території дослідження.

Значні обсяги експериментальних дослідж-

ень, з використанням первинної супутникової інформації і її адекватної обробки за допомогою ГІС-технологій, дозволяють прослідкувати й контролювати увесь процес обробки високоточної інформації. На основі складних процедур фільтрації геоданих, їх дешифрування, оверлейного аналізу з використанням значної атрибутивної інформації можливо у напівавтоматичному режимі укласти і уточнювати на місцевості ландшафтні карти і перевіряти у напівавтоматичному режимі на тестових ділянках. У такий спосіб, уточнено алгоритм ландшафтної зйомки Г. Міллера [12] і запропоновано і апробовано суттєво модифіковану процедуру ландшафтного картографування для проведення ідентифікативного моніторингу ландшафтів. Ландшафтна карта, укладена у такий спосіб, дозволяє ідентифікувати сучасні процеси та прогнозувати можливий їх розвиток, що, узятє разом, не лише забезпечує напівавтоматичне картографування, але й орієнтує подальший пізнавальний процес з метою поглиблених подальших досліджень та вирішення проблем, навколишнього середовища та його захисту, які повсякденно виникають в умовах напруженої експлуатації природних ресурсів.

Остаточо визначено типи об'єктів моніторингу, індикативні ознаки змін та способи їх прослідковування за даними високоточної і загальнодоступної супутникової інформації, що надає ландшафтному моніторингові реальності, недосяжної традиційними методами, і підвищує значущість конструктивно-географічних досліджень у забезпеченні збереження ПЗФ України (на прикладі НПП «Слобожанський»).

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

Література

1. Байрак Г. Р. Дистанційні дослідження Землі: Навчальний посібник / Г. Р. Байрак, Б. П. Муха. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 712 с.
2. Богданов А. П. Разработка методики мониторинга состояния лесов на основе использования данных мультиспектральной космосъемки / А. П. Богданов, Р. А. Алешко. – Архангельск: ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», 2016. – С. 98-110.
3. Бодня О. В. Геоекологічний аналіз короткочасних трендів зміни структури території НПП «Слобожанський» за даними космічної зйомки PlanetScope / О. В. Бодня, А. Ю. Овчаренко, І. Г. Черваньов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2017. – Вип. 47. – С. 176-181.
4. Бодня О. В. Ландшафтне картографування НПП «Слобожанський» засобами мобільних, настільних та веб-додатків ArcGis / О. В. Бодня, А. Ю. Овчаренко, О. І. Сінна [та ін.] // Проблеми безперервної географічної освіти та картографії: збірник наукових праць. – Харків, 2016. – С. 15-21.
5. Бодня О. В. Ландшафтне онлайн-картографування з використанням смартфонів, оснащених ГІС-технологіями: досвід застосування у Слобожанському національному природному парку / О. В. Бодня, І. А. Олійников, А. Ю. Овчаренко // Проблеми ландшафтознавства в контексті сталого розвитку та Європейської ландшафтної конвенції: матеріали Міжнародного наукового семінару, присвяченого 40-річчю заснування Чорногірського стаціонару Львівського національного університету імені Івана Франка (Львів, Ворохта, 3-5 листопада 2017 р.). – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. – С. 32-33.
6. Відіна А. А. Практические занятия по ландшафтному дешифрированию аерофотоснимков / А.А. Відіна. – М.: МГУ, 1981. – 58 с.

7. Загальська О. Ландшафтно-дистанційні дослідження: переваги, здобутки, перспективи / О. Загальська // Вісник Львівського національного університету. – Львів, 2004. – Вип. 31. – С. 277-284.
8. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л. : Гидрометеоиздат, 1979. – 375 с.
9. Ільїна О. В. Антропогенні трансформації болотних комплексів боліт // Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі України / О. В. Ільїна. – Луцьк : Волинський державний університет, 2003. – С. 111-114.
10. Ільїна О. В. Еколого-географічний аналіз боліт Волинської області // Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі України / О. В. Ільїна. – Луцьк : Волинський державний університет, 2007. – С. 14-17.
11. Караїм О. А. Моніторинг в системі управління ландшафтами природоохоронних територій // Вісник національного університету водного господарства та природокористування / О. А. Караїм. – Луцьк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2013. – Вип. 3. – С. 91-98.
12. Міллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій / Г. П. Мілер. — К. : ІЗМН, 1996. – 168 с.
13. Овчаренко А. Ю. Можливості автоматизованої обробки інформації для потреб моніторингу і охорони ландшафтів з використанням космічних знімків на прикладі території НПП «Слобожанський» / А. Ю. Овчаренко, О. В. Залюбовська // Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони: матеріали міжнародного наукового семінару 5-7 жовтня 2018 р. – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2018. – С. 266-271.
14. Овчаренко А. Ю. Можливості автоматизованої обробки інформації за допомогою ArcGis для потреб здійснення ландшафтного моніторингу території дослідження / А. Ю. Овчаренко // Збірник матеріалів конференції «ГІС-форум-2018». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – Вип. 2. – С. 62-67.
15. Перепечена Ю. И. Определение лесистости и количественных характеристик лесов по космическим снимкам Sentinel-2 (на примере Шебекинского муниципального района Белгородской обл.) / Ю. И. Перепечена, О. И. Глушенко, Р. С. Корсиков // Дистанционные методы в лесном хозяйстве. – 2017. – № 4. – С. 85–93.
16. Романчук І. Ф. Оцінка вологості ґрунту за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 (на прикладі Баршівського полігону Київської області): доповідь НАН України / І. Ф. Романчук, О. І. Сахацький, О. А. Апостолов. – К. : ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України», 2018. – № 1. – С. 60-66.
17. Слободяник М. П. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів / М. П. Слободяник // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 1 (88). – С. 27-31.
18. Coppin P. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review / P. Coppin, I. Jonckheere, K. Nackaerts [and other] // Int. j. remote sensing. – Belgium, 2004. – Vol. 25. – № 9. – P. 1565–1596.
19. Cushman S. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency / S. Cushman, K. McGarigal, M. Neel // Ecological indicators. – 2007. – Vol. 8. – P. 691-703.
20. Houet T. Monitoring and modelling landscape dynamics / T. Houet, P. Verburg, T. Loveland // Landscape Ecology. – 2010. – Vol. 25. – P. 163-167.
21. Jons J. Monitoring species abundance and distribution at the landscape scale / J. Jons // Journal of Applied Ecology. – 2011. – Vol. 48. – P. 9-13.
22. Keith D. Monitoring change in uplands wampsin Sydney's water catchments: the roles of fire and rain // Department of Environment and Conservation / D. Keith, S. Rodoreda, L. Holman [and other]. – Sydney, 2006. – P. 1055-1059
23. Kennedy R. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects / R. Kennedy, P. Townsend, J. Gross [and other] // Remote Sensing of Environment 113. – 2009. – 1382–1396.
24. National Inventory of Landscapes in Sweden (NILS)—scope, design, and experiences from establishing a multiscale biodiversity monitoring system // Environmental Monitoring and Assessment. – 2011. – Vol. 173. – P. 579-595.
25. Noss R. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach / R. Noss // Conservation Biology. – Corvalli : Environmental Research Laboratory, 1990. – Vol. 4. – P. 355-364.
26. O'Neill R. Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale / R. O'Neill, C. Hunsaker, K. Jones [and other]. – 1997. – P. 513-519.
27. Ricardo D. Lopez. Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators. Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems / D. Ricardo, C. Frohn. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 285 p.
28. Roy Y. Landscape Monitoring of Terrestrial Ecosystems in the Credit River Watershed / Y. Roy, K. Paudel // Terrestrial Monitoring Program Report. – Meadowvale, 2013. – 53 p.
29. Tretyakov O. S. Feature of interpretation of plant species in natural park "Slobozhanskiy" using Landsat 8 satellite data / O. S. Tretyakov, O. V. Bodnia, M. O. Balynska [and other] // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. – Вип. 21. – С. 73-79.
30. Walz U. Monitoring of landscape change and functions in Saxony (Eastern Germany) –Methods and indicators / U. Walz // Ecological Indicators. – 2008. – Vol. 8. – P. 807-817.
31. Zerge A. Spatially modelling native vegetation condition / A. Zerge, P. Gibbons, S. Jones [and other] // Ecological Management & Restoration. – 2006. – P.537–544.
32. Константиновская Л. В. Дешифрирование материалов съемок [Электронный ресурс] / Л. В. Константиновская. – Режим доступа : <http://www.astronom2000.info>

UDC 911.502:005

Alina Ovcharenko,

PhD Student, 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: alina_06@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8500-4152>;

Oksana Zaliubovska,

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: bodnia@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4195-9114>

INDICATIVE LANDSCAPE MONITORING OF THE NATIONAL NATURE PARK (CASE STUDY THE TERRITORY OF SLOBOZHANSKY NATIONAL NATURE PARK)

Formulation of the problem. National Natural Parks (NNP) – protected areas where anthropogenic and natural landscapes are combined in the same territory. In addition, the main functions of such objects are significantly competitive, which requires monitoring of changes in existing landscapes. It is necessary to define the local objects which, being the most sensitive, at the same time have small plasticity, therefore, are capable to react quickly and adequately to any changes. That is what we call indicative.

Analysis of recent research and publications. Many researchers of the USA, Great Britain, Germany, Australia conduct landscape monitoring using remote sensing data and GIS technologies. For example, D. Keith, S. Rodoreda, L. Holman, R. Noss, U. Walz, and others. The National Inventory of Landscapes in Sweden studies development of modern landscape monitoring in countries of Europe. Landscape Monitoring of Terrestrial Ecosystems, studied by researches R. Kennedy, J. Jons, K. Jones and others allow using data of satellite for selection of plant contours using Gis-technology. Landscape monitoring of the territory of NNP «Slobozhanskiy» has never been carried out.

The aim of the study is to choose satellite images, taking into account the area of the study, the choice of optimal methods of their processing for the compilation of a database of landscape structure facies for landscape monitoring based on long-term observations on the ground, comparing their results with geodata. We have determined wetlands, as landscape indicators.

Presentation of the main material of the study. Comprehensive analysis of remote sensing data carried out by the authors, allowed us to make sure that vegetation cover is the most indicative, except for the contours of wetlands, which are clearly identified and easily compared in multi-spectral images. It is reliably determined by the characteristic features combine with the corresponding spectral ranges and the image structure. In addition, changes in vegetation allows you to visually determine changes in landscape groupings and the speed of these changes.

Summary. The indicative features of landscape monitoring are wetlands, and there are two direct indicators: the contours of wetlands and the change in the aspect of vegetation. The monitoring method is a multi-spectral analysis of images obtained by processing combinations of spectral channels, which showed the ability to determine the changes in the selection, taking into account reflectivity of the surface. Limitations of the method are the following: there is no established method of meticulous analysis of changes in the structure of vegetation, which is observed visually, but is not reflected instrumentally; inability to take into account random features of the territory conditions and space scanning at a certain point, which is interesting for the study. Finally, the types of monitoring objects, indicative signs of changes and ways to track them according to high-precision and generally available satellite information are determined.

Keywords: indicative landscape monitoring, plant communities, wetlands, PlaneScope, Sentinel-2, Semi-automatic classification, overlay analysis, NextGis

References

1. Bayrak G. R., Muha B. P. (2010). *Remote research of the Earth: textbook*. Lviv, publishing center of Ivan Franko LNU, 712.
2. Bogdanov A. P., Aleshko G. A. (2016). *Development of methods for monitoring the state of forests on the basis of the use of data of multispectral space*. Arkhangelsk, FBU "Northern research Institute of forestry", 98-110.
3. Bodnia O. V., Ovcharenko A. Yu., Chervanev I. G. (2017). *Geoecological analysis of short-term trends changes in the structure of the territory of NPP "Slobozhanskiy" based on satellite imagery Planetscope*. Kharkiv, KNU of V. N. Karazin, 47, 176-181.
4. Bodnia O. V., Ovcharenko A. Yu., Sennaya O. I. [and other]. (2016). *Landscape mapping of NPP "Slobozhansky" by means of mobile, desktop and web applications of ArcGis*. Kharkiv, 15-21.

5. Bodnia O. V., Oleynikov I. A., Ovcharenko A. Yu. (2017). *Landscape of online mapping using smartphones, equipped with GIS technology: application experience in Slobzhansky national Park*. Lviv, Publishing center of LNU of Ivana Franco, 32-33.
6. Vidina A. A. (1981). *Practical classes in landscape decryption arafathospital*. M., MNU, 58.
7. Zagulskaya O. (2004). *Landscape-remote research: advantages, achievements, perspectives*. Lviv, 31., 277-284.
8. Israel Yu. A. (1979). *Ecology and control of natural environment*. L., Hydrometeoizdat, 375.
9. Ilyina O. V. (2003). *Anthropogenic transformations of marsh complexes*. Lutsk, Volyn state University, 111-114.
10. Ilyina O. V. (2007). *Ecological and geographical analysis of bogs of Volyn region*. Lutsk, Volyn national University of Lesya Ukrainka, 14-17.
11. Karaim O. A. (2013). *Monitoring the system landscape governance of protected areas*. Lutsk, Volyn national University of Lesya Ukrainka, 3., 91-98.
12. Miller G. P. (1996). *Field landscape removal of mountain areas*. K., IZMN, 168.
13. Ovcharenko A. Yu., Zalubovska O. V. (2018). *Opportunities of automated information processing for the needs of monitoring and protection of landscapes using satellite images, for example, the territory of NPP "Slobzhanskiy"*. Lviv, LNU of Ivan Franko, 266-271.
14. Ovcharenko A. Yu. (2018). *Automated information processing capabilities with the help of ArcGis for implementation of the landscape monitoring of the territory under study*. Collection of Materials of the conference "GIS-forum-2018". Kharkiv, KNU of V. N. Karazin., 2, 62-67.
15. Perepechina Yu. I., Glushenkov O. I., Korsikov R. S. (2017). *Determination of forest cover and quantitative characteristics of forests from Sentinel-2 satellite images (on the example of Shebekinsky municipal district of Belgorod region)*. 4, 85-93.
16. Romanchu, I. F., Sakhatsky O. I., Apostolov O. A. (2018). *Soil moisture assessment using satellite images of Sentinel-2 (by the example of the baryshevsky test site of the Kiev region): report of the national Academy of Sciences of Ukraine*. K., GU "Scientific Centre for aerospace research of the Earth of Institute of geological Sciences of NAS of Ukraine". 1, 60-66.
17. Slobodyanik M. P. (2014). *The use of remote sensing methods and GIS technologies for monitoring forest resources*. 1 (88), 27-31.
18. Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K. [and others]. (2004). *Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review*. Belgium, 25, 9, 1565–1596.
19. Cushman S., McGarigal K., Neel M. (2007). *Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency*. 8, 691-703.
20. Houet T., Verburg P., Loveland T. (2010). *Monitoring and modelling landscape dynamics*. 25, 163-167.
21. Jons J. (2001). *Monitoring species abundance and distribution at the landscape*. 48, 9-13.
22. Keith D., Rodoreda S., Holman L. [and other]. (2006). *Monitoring of changes in upland swamps in Sydney's water catchments: the roles of fire and rain*. Sydney, 1055-1059.
23. Kennedy R., Townsend P., Gross J. [and others]. (2009). *Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects*. 1382–1396
24. *National Inventory of Landscapes in Sweden (NILS)—scope, design, and experiences from establishing a multiscale biodiversity monitoring system*. (2011). 173., 579-595.
25. Noss R. *Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach*. (1990). Corvalli, Environmental Research Laboratory, 4, 355-364.
26. O'Neill R., Hunsaker C., Jones K. [and other]. (1997). *Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale [and other]*. 513-519.
27. Ricardo D. Lopez. Frohn C. (2017). *Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators. Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems*. Boca Raton, CRC Press, 285.
28. Roy Y. Paudel K. (2013). *Landscape Monitoring of Terrestrial Ecosystems in the Credit River Watershed*. Meadowvale, 53.
29. Tretyakov O. S. Bodnia O. V., Balynska M. O. [and other]. (2015). *Features of interpretation of plant association in national natural park "Slobzhanskiy", using Landsat 8 satellite data*. Kharkiv, KNU of V. N. Karazin, 21, 73-79.
30. Walz U. (2008). *Monitoring of landscape changes and functions in Saxony (Eastern Germany) – Methods and indicators*. 8, 807-817.
31. Zenger A., Gibbons P. Jones S. [and other]. (2006). *Spatial modelling of native vegetation condition*. 537–544.
32. Konstatinivskaya L. V. *Interpretation of space imagery materials*. Available at: <http://www.astronom2000.info>

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До „Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна”, серія „Геологія. Географія. Екологія”, приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською, російською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими – фахівцями у даній тематичі.

Матеріали подаються у друкованому або в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту geoeco-series@karazin.ua. Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки.

Згідно вимог ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (не менше ніж 1800 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською, російською й англійською мовами. Кількість авторів не повинна перевищувати 3 (як виключення – до 5). Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

Олексій Вацлавович Барташук,

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,
e-mail: 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 паратенез.

А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА. *Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского 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 паратенез.

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 Gimnaziynna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,
e-mail: 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.

© Барташук О. В., 2018

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 49

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 26.11.2018 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 18,5. Обл.–вид. арк. 21,4.
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.