

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

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

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

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

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 6 від 29.05.2018 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. Пересадыко*; 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* (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка); 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 Konstantin – 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 Lyudmyla – 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 Ilyia – 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 Geo-technology, Technical University of Košice (Slovakia).

З М І С Т

ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Людмили Миколаївни НСМЕЦЬ	8
ДО ЮВІЛЕЮ Анатолія Йоновича ЛУР'Є	10

ГЕОЛОГІЯ

Барташук О. В.

СИСТЕМНА ОРГАНІЗАЦІЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЇ ТЕКТОНІКИ КОНСОЛІДОВАНОГО ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ. ЧАСТИНА 3. СТРУКТУРНО-КІНЕМАТИЧНІ ПАРАГЕНЕЗИ ТЕКТОНІЧНОЇ ТЕЧІЇ ЗОН ГОРИЗОНТАЛЬНО-ЗДВИГОВИХ ДИСЛОКАЦІЙ	12
---	----

Воловецький В. Б., Гнітко А. В., Щирба О. М.

ОСОБЛИВОСТІ СОЛЕВІДКЛАДЕННЯ У ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ СВЕРДЛОВИНАХ	30
---	----

Гайко Г. І., Матвійчук І. О., Білецький В. С., Пьотр Салуга

МЕТОДИ ПРОГНОЗНОЇ ОЦІНКИ СПРИЯТЛИВОСТІ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА БУДІВНИЦТВУ ОБ'ЄКТІВ ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ	39
--	----

Горайнов С. В.

О ПОЛОЖЕНИИ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА В ОБЩЕЙ СХЕМЕ КАЙНОЗОЙСКИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ И БЛИЖНЕГО ВОСТОКА	52
---	----

Кучманіч Н. Г., Бриндзя І. В., Щемельов Г. В.

ПЛАСТОВІ ВОДИ БОРИСЛАВСЬКОГО НАФТОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ЯК ДЖЕРЕЛО ЙОДУ ТА БРОМУ	62
---	----

Поверенный С. Ф., Чуенко А. В., Поддубная Е. В., Соколов В. А.

ГАЗОВОЛЮМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД В ПРАКТИКЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД	71
--	----

Стеценко А. І.

ЛІТОЛОГІЯ ТА ГЕОХІМІЯ ОСАДОВИХ ПОРІД ПАВЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ КРИВОРІЗЬКОЇ СТРУКТУРИ	92
---	----

Стеценко В. В., Осипчук В. Ю.

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ МАСИВІВ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО КАРТУВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ГПМ РОДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ СКЕЛЮВАТСЬКОГО РОДОВИЩА)	104
--	-----

Suyarko V. G., Ishchenko L. V., Gavrilyuk O. G.

FLUID REGIME AND ORE WATER OF BITUMO-HYDROTHERMAL MINERAL ASSOCIATIONS IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONETSK GRABEN	113
---	-----

ГЕОГРАФІЯ

Лаврик О. Д., Цимбалюк В. В.

КОНСТРУКТИВНО-ГЕОГРАФІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	123
--	-----

Микаилов А. М.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОПУСТЫНИВАНИЯ
ЛАНДШАФТОВ НИЗКОГОРИЙ И ПРЕДГОРНЫХ
НАКЛОННЫХ РАВНИН КУРИНСКОЙ ВПАДИНЫ 133

Niemets L. M., Suptelo O. S., Zavetnyi S. O., Redin V. I., Baynazarov A. M.

DYNAMICS OF THE NUMBER OF THE POPULATION
OF THE GLOBAL CITIES OF THE EAST EUROPEAN REGION 143

Сліже М. О., Ю. Ель Хадрі

РАЙОНИ ФОРМУВАННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОВІТРЯНИХ МАС,
ЯКІ НАБУВАЮТЬ ВЛАСТИВОСТІ СУХОВІЮ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ 152

ЕКОЛОГІЯ

Son'ko S. P., Maksymenko N. V., Peresadko V. A., Sukhanova I. P., Vasylenko O. V., Nikitina O. V.

CONCEPT OF ENVIRONMENTALLY PROTECTIVE
FARMING FOR THE FOREST-STEPPE ZONE 161

Сухов В. В., Суярко В. Г., Немець К. А., Матвеев А. В.

ГІДРОГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У КАРБОНАТНИХ ПОРОДАХ.
ЧАСТИНА II. КАРСТ І ЙОГО ВПЛИВ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ 173

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ,
ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» 185**

CONTENT

CHRONICLE

TO MARK THE ANNIVERSARY OF Lyudmyla NIEMETS	8
TO MARK THE ANNIVERSARY OF Anatoliy LURIE	10

GEOLOGY

Bartashchuk Oleksii

SYSTEM ORGANIZATION OF DISJUNCTIVE TECTONICS OF CONSOLIDATED BASEMENT IN DNIPRO-DONETS PALEORIFT. PART 3. STRUCTURAL-CINEMATIC PARAGENESES OF HORIZONTAL-SHEAR DISLOCATIONS ZONES	12
---	----

Volovetskyi Volodymyr, Gnitko Andrii, Shchyrba Oksana

CHARACTERISTICS OF SCALE DEPOSITION IN GAS-CONDENSATE WELLS	30
---	----

Haiko Hennadii, Matviichuk Ivan, Biletskyi Volodymyr, Saluga Piotr

FORECAST ASSESSMENT METHODS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT PROMOTION FOR THE CONSTRUCTION OF URBANISTICS SUBJECTS	39
---	----

Goryajnov Sergey

ON POSITION OF THE BLACK SEA REGION IN GENERAL SCHEME OF CENOZOIC TECTONIC MOVEMENT IN EASTERN EUROPE AND THE MIDDLE EAST	52
--	----

Kuchmanych Nelia, Bryndzia Irina, Shchemeliiov Hennadii

RESERVOIR WATER OF BORYSLAV OILFIELD AS A SOURCE OF IODINE AND BROMINE	62
---	----

Poverenniy Sergey, Chuienko Oleksandr, Pidubna Olena, Sokolov Viktor

GAS-VOLUMETRIC METHOD IN LABORATORY RESEARCH PRACTICE OF ROCKS COLLECTOR PROPERTIES	71
--	----

Stetsenko Alyona

LITHOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTARY ROCKS IN PAVLIVSK FIELD IN THE WESTERN PART OF THE KRYVIY RIH STRUCTURE	92
--	----

Stetsenko Vyacheslav, Osypchuk Viktoriya

GEOMETRIZATION OF FERRUGINOUS QUARTZITE MASSIFS BASED ON GEOLOGICAL AND STRUCTURAL MAPPING RESULTS AND IMPROVEMENT OF DEPOSIT GIM (THE CASE OF SKELYUVATSK DEPOSIT)	104
---	-----

Suyarko Vasyl, Ishchenko Lilia, Gavriilyuk Olga

FLUID REGIME AND ORE WATER OF BITUMO-HYDROTHERMAL MINERAL ASSOCIATIONS IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONETSK GRABEN	113
---	-----

GEOGRAPHY

Lavryk Oleksandr, Tsymbaliuk Valentyna

CONSTRUCTIVE AND GEOGRAPHICAL VALUE OF LANDSCAPE AND TECHNICAL SYSTEMS RESEARCH	123
--	-----

Mikayilov Aruz

DESERTIFICATION OF LANDSCAPES IN LOW MOUNTAINOUS
AND PLAIN SLOPING FOOTHILLS OF KUR DEPRESSION 133

Niemets Lyudmyla, Suptelo Olga, Zavetnyi Sergii, Redin Volodymir, Baynazarov Anatoliy

DYNAMICS OF THE POPULATION NUMBER
IN GLOBAL CITIES OF THE EAST EUROPEAN REGION 143

Slizhe Mariia, Youssef El Hadri

FORMATION AREAS AND TRANSFORMATION OF AIR MASSES
ACQUIRING PROPERTIES OF DRY WIND IN THE TERRITORY OF UKRAINE 152

ECOLOGY

Son'ko Sergiy, Maksymenko Nadiya, Peresadko Vilina,

Sukhanova Iryna, Vasylenko Olga, Nikitina Olga

CONCEPT OF ENVIRONMENTALLY PROTECTIVE
FARMING FOR THE FOREST-STEPPE ZONE 161

Sukhov Valeriy, Suyarko Vasyl, Niemets Konstantin, Matveyev Andriy

HYDROGEODYNAMIC PROCESSES IN CARBONATE ROCKS. PART II.
KARST AND ITS INFLUENCE ON GEOLOGICAL ENVIRONMENT 173

REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO

THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” 185

ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Людмили Миколаївни НЕМЕЦЬ



20 травня відзначає свій ювілей завідувач кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства, видатний науковець у галузі суспільної географії, кавалер ордена княгині Ольги III ступеня, відмінник освіти України, заслужений професор Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор Немець Людмила Миколаївна.

Більше чверті століття Людмила Миколаївна віддано працює у Alma mater, присвячуючи свій талант і здібності розвитку класичної університетської науки, формуванню Харківської суспільно-географічної наукової школи, процвітанню кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства та Каразінського вишу.

Людмила Миколаївна здобула вищу освіту у Харківському державному університеті імені О. М. Горького (сьогодні – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна), отримала диплом з відзнакою та продовжила наукові вишукування. У 1995 році захистила кандидатську дисертацію, а в 2004 році – докторську дисертацію, в якій розробила соціально-географічні

основи стратегії переходу України на модель стійкого розвитку.

З 2006 року Людмила Миколаївна очолює кафедру соціально-економічної географії і регіонознавства, яка наразі входить до 10-и найкращих кафедр природничого профілю Каразінського Університету.

Розвиток кафедри та значні її досягнення в навчально-методичній, науковій, виховній, організаційній діяльності є результатом самовідданості та працелюбності Людмили Миколаївни, її значного інтелектуального та творчого потенціалу, менеджерських якостей та організаторських здібностей. На кафедрі проводяться фундаментальні та прикладні наукові дослідження, здійснюється міжнародне співробітництво, зокрема з Канадою, Іспанією, Норвегією, Угорщиною, Румунією та Естонією, багато зусиль спрямовано на сприяння науковій роботі та самореалізації студентів, аспірантів і співробітників кафедри. Значну увагу Людмила Миколаївна приділяє формуванню молодих фахівців та підготовці висококваліфікованих кадрів. Під її науковим керівництвом

вом захищено тринадцять кандидатських та одну докторську дисертації за спеціальністю 11.00.02 «Економічна та соціальна географія», навчаються аспіранти та працюють над докторськими дисертаціями два співробітника кафедри.

Людмила Миколаївна веде активну новаторську діяльність не тільки в галузі суспільної географії, а й у методиці викладання навчальних дисциплін кафедри, удосконаленні педагогічної майстерності викладачів, напрямках роботи зі студентами тощо. З її ініціативи та під її керівництвом на кафедрі функціонує науково-методологічний семінар, а на факультеті геології, географії, рекреації і туризму проводиться методологічний семінар; щороку організуються міжнародні науково-практичні конференції «Регіон: стратегія оптимального розвитку» та «Регіон: суспільно-географічні аспекти», а також міжнародні науково-практичні та методологічні семінари, присвячені актуальним питанням географічної науки та освіти. Людмила Миколаївна є членом редколегій фахових видань України та головним редактором спеціалізованого наукового видання «Часопис соціально-економічної географії», який входить до одинадцяти наукометричних баз. Людмила Миколаївна є Головою спеціалізованої вченої ради К 64.051.23 Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за спеціальністю 11.00.02 – «економічна та соціальна географія», яка успішно функціонує третю каденцію.

За роки роботи в університеті Людмила Миколаївна отримала визнання не лише провідного фахівця в галузі суспільної географії, а й стала однією з фундаторів Харківської суспільно-географічної наукової школи. За останні роки Л. М. Немець керувала низкою науково-

дослідних робіт держбюджетного та госпрозрахункового фінансування. Людмила Миколаївна є автором наукових монографій, навчальних та методичних посібників, статей у провідних вітчизняних та міжнародних виданнях, у тому числі у виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus. Наукові публікації Людмили Миколаївни користуються визнанням учених та громадських діячів України та зарубіжжя.

Професор Немець Людмила Миколаївна у своїй трудовій і науковій діяльності керується цінностями Каразінського університету, має пошану колег та повагу студентів, є щирою, доброю, порядною та справедливою людиною, талановитим керівником та видатним науковцем.

Результатом самовідданої праці цієї талановитої людини, педагога і науковця є заслужені нагороди. Людмила Миколаївна є Відмінником освіти України, Заслуженим професором Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, кавалером ордена княгині Ольги III ступеня, нагороджена медаллю імені В. Н. Каразіна, грамотою Верховної Ради України «За заслуги перед Українським народом».

Сердечно вітаємо Людмилу Миколаївну з ювілеєм! Ми шануємо і поважаємо Вас як інтелегентну людину, креативного педагога, талановитого науковця, вмілого організатора. Бажаємо Вам нових здобутків, незгасної життєвої енергії, нових цікавих ідей та їхнього успішного втілення. Нехай Ваша творча енергія і життєлюбність, організаторський та науковий талант, відданість справі і високий професіоналізм і надалі плідно слугують Вашим цілям. Щиро бажаємо міцного здоров'я, щастя, добра, миру і благополуччя, здійснення усіх сміливих задумів та сподівань!

*Співробітники факультету геології, географії, рекреації і туризму
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,*

редакційна колегія «Віснику»,

*колектив географічного факультету
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича,*

*колектив геолого-географічного факультету
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова*

ДО ЮВІЛЕЮ Анатолія Йоновича ЛУР'Є



15 червня виповнюється 80 років від дня народження відомого вченого - фахівця в галузі гідрогеології та геології нафти і газу – Лур'є Анатолія Йоновича.

Анатолій Йонович Лур'є – професор кафедри гідрогеології, доктор геолого-мінералогічних наук народився у м. Харкові, де у 1955 році закінчив школу і почав трудову діяльність робочим у геологічній експедиції. У 1957 році вступив до Харківського державного університету на геологічний факультет. У 1962 році закінчив навчання в університеті та отримав диплом інженера-гідрогеолога. Перший рік після навчання працював інженером в інституті «Південдіпроруда». У 1963 році перейшов на роботу в Український науково-дослідний інститут природних газів. В інституті пройшов шлях від інженера до керівника комплексного відділу, а у теперішній час продовжує працювати провідним науковим співробітником. Перші роки роботи в інституті були пов'язані з гідрогеологічними дослідженнями розвідувальних свердловин, у т.ч. на Шебелинському родовищі. В 1967 році Анатолій Йонович вступив до заочної аспірантури. І вже у 1969 році, під керівництвом академіка НАН України Бабінця А.Є., була достроково захищена кандидатська дисертація за спеціальністю «гідрогеологія».

На початку 70-х років за розпорядженням Міністерства газової промисловості ювіляр був направлений з групою спеціалістів в Грузію для надання наукової та технічної допомоги з освоєння термальних вод Закавказзя. У подальшому він був орієнтований на роботи за напрямом геології нафти та газу. Перша велика робота була пов'язана з обґрунтуванням можливості створен-

ня підземного сховища газу у відносно виробленому Краснопопівському родовищі.

З середини 70-х років ювіляр очолив групу спеціалістів та почав активно приймати участь у геологічних дослідженнях газових родовищ ряду регіонів за межами України. Першим об'єктом вивчення була оцінка перспектив нафтогазоносності Переддобруджського прогину на території Молдови. Після цього організував та очолив роботи з дослідження свердловин Мастахського газового родовища в Якутії. Ці роботи були пов'язані з вивченням температурних процесів на газовому родовищі під впливом багаторічно мерзлих порід. Великий комплекс робіт з вивчення термобаричних умов на родовищах Західного Сибіру проводилися за участі Анатолія Йоновича у період з 1983 по 1994 роки. Склалися геолого-гідродинамічні моделі таких гігантських родовищ як Уренгойське, Ямбургське, Харасавійське, Бованенковське та інших. Паралельно велися роботи на родовищах управління «Арктикморнафтогазрозвідка» (м. Мурманськ).

У 1989 році успішно захистив у ВНДІгазі (м. Москва) докторську дисертацію «Геотермічні аномалії та нафтогазоносність», в якій розробив теоретичні основи взаємозв'язку геотермічного поля з формуванням та розміщенням вуглеводнів.

Починаючи з 90-х років переключився на роботи по Україні, значно розширивши проблематику робіт. Був ініціатором великого кола досліджень, що пов'язані з оцінкою якості природного газу. У період 1990-2000 років був учасником групи спеціалістів з підготовки щорічних технічних угод до контрактів на поставку газу з Росії в Україну та забезпеченню транзиту газу

через Україну в Європу. З цих питань проходили 4-х сторонні зустрічі спеціалістів (Україна, Росія, Білорусія та Молдова), в яких Анатолій Йонович постійно приймав участь. Неодноразово організовував наради з питань якості газу, а у 1999 році був призначений керівником «Галузевого центру контролю якості газу НАК «Нафтогаз України», який функціонує і до цього часу. У період 1995-2000 років без відриву від основного місця роботи був експертом з якості газу Міжнародного газового союзу. Приймав участь у роботі спеціалізованої групи, яка проводила наради у Брюсселі, Гамбурзі та інших містах Європи.

У 1999 році з ініціативи УкрНДІгазу був створений Комітет України зі стандартизації ТК-133 «Газ природний», де з того ж періоду до теперішнього часу Анатолій Йонович виконує роботу заступника голови комітету. З його участю були підготовлені ряд державних, галузевих та відомчих стандартів. Керував розробкою таких стандартів як «Геологічні дослідження та випробування нафтогазових свердловин», «Геолого-геохімічні та газокаротажні дослідження», «Прогнозування обводнення покладів вуглеводнів» та ін.

Починаючи з 1993 року за сумісництвом почав працювати в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна, а у 1999 році одержав звання професора. У 2010 році був зарахований професором кафедри гідрогеології Харківського національного університету, зберігши науково-дослідницьку діяльність в УкрНДІгазі. У 2012-2014 роках виконував обов'язки завідувача кафедри гідрогеології, а у період з 2012-2016 року очолював спеціалізовану Вчену раду із захисту дисертацій за спеціальностями «геологія нафти та газу» та «гідрогеологія». Під його керівництвом захищені 5 кандидатських дисертаційних

робіт, був науковим консультантом докторських дисертацій.

Робота останніх років була пов'язана з вивченням особливостей обводнення газоконденсатних родовищ, а також колекторськими характеристиками продуктивних горизонтів.

Анатолій Йонович Лур'є є автором та співавтором більш ніж 250 наукових робіт, у т.ч. 5 монографій, а також 6 патентів на винаходи. Автор ряду науково-популярних видань присвячених історії газової промисловості, водним проблемам, краєзнавству.

Анатолій Йонович є почесним працівником нафтогазової галузі України, багаторазово нагороджувався грамотами керівництва галузі, а також університету. Член редколегії «Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», а також заступник головного редактора галузевого збірника «Питання розвитку газової промисловості України».

Анатолію Йоновичу, щиро вітаємо Вас з ювілеєм! Ми знаємо Вас як яскраву, неординарну особистість, висококваліфікованого науковця, який по праву може пишатися своїм духовним та інтелектуальним потенціалом, успіхами та досягненнями. Високий професіоналізм, талант, безмежна відданість справі, працьовитість і наполегливість у досягненні поставлених цілей дали змогу Вам досягти значних успіхів у науковій діяльності, здобути шану та повагу серед колег та студентства. Впевнені, що Ваш досвід, знання і прекрасні людські якості будуть спрямовані на розвиток вищої освіти і в подальшому.

У день Вашого ювілею, шановний Анатолію Йоновичу, бажаємо Вам міцного здоров'я, щастя, благополуччя, оптимізму, невичерпної енергії та нових творчих успіхів. Зі святом!

*Співробітники 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 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. ЧАСТИНА 3. СТРУКТУРНО-КІНЕМАТИЧНІ ПАРАГЕНЕЗИ ТЕКТОНІЧНОЇ ТЕЧІЇ ЗОН ГОРИЗОНТАЛЬНО-ЗДВИГОВИХ ДИСЛОКАЦІЙ

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.

Встановлено, що здвигові механізми активізації регіональних систем розломів у колізійних обстановках загальноплитного горизонтального стиснення є визначальним фактором вторинного деформаційного структуроутворення у лінійних зонах горизонтально-здвигових дислокацій. Завдяки застосуванню структурно-кінематичного аналізу структурних рисунків визначено основні кінематичні механізми структурних дислокацій, які характеризуються спільними обертаннями ансамблів активізованих геоблоків, або комбінаціями різноспрямованих рухів без ротаційної складової, відрізняються за напрямками горизонтальних переміщень геомас відносно вісі простягання палеорифту, а також зумовлюють тектонічний "мегабудинаж" за рахунок зворотньо-поступальних переміщень геоблоків вздовж супряжених систем здвигів одноім'яної кінематики. Показано, що діагностика структурних парагенезів тектонічної течії в архітектурі фундаменту ДДП є коректною, тому доцільне широке використання виділених в його межах типових здвигових структурних рисунків та відповідаючих їм кінематичних типів структур тектонічної течії для вивчення кінематики і механізмів вторинного деформаційного структуроформування в інших давніх внутрішньоконтинентальних рифтогенних геоструктурах.

Ключові слова: деформації горизонтального здвигу, структурний рисунок, механізми тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез.

А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА. ЧАСТЬ 3. СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАГЕНЕЗИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ЗОН ГОРИЗОНТАЛЬНО-СДВИГОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ. *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 впервое выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты.*

Выявлено, что сдвиговые механизмы активизации региональных систем разломов в коллизионных обстановках общеплитного сжатия земной коры являются определяющим фактором вторичного деформационного структурообразования в линейных зонах горизонтально-сдвиговых дислокаций. Благодаря применению структурно-кинематического анализа структурных рисунков установлены основные кинематические механизмы вторичных структурных дислокаций, которые характеризуются согласованным вращением ансамблей активизированных геоблоков или комбинациями разнонаправленных движений без ротационной составляющей, отличаются по направлению перемещений геомасс относительно оси простирания палеорифта, а также вызывают тектонический "мегабудинаж" за счет возвратно-поступательных перемещений геоблоков вдоль сопряженных систем сдвигов одноименной кинематики. Показано, что диагностика структурных парагенезов тектонического течения в архитектуре фундамента палеорифта является корректной, поэтому целесообразно широкое использование выделенных в его пределах типовых сдвиговых структурных рисунков и соответствующих им кинематических типов структур тектонического течения для изучения кинематики и механизмов вторичного деформационного структурообразования в других древних внутриконтинентальных рифтогенных геоструктурах.

Ключевые слова: деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

Вступ. Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури

тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізми об'ємної течії гірських порід.

Пізнання механізмів об'ємної тектонічної течії гірських порід важливо як для геотектоніки, так і для нафтогазової геології, тому що при горизонтальних переміщеннях і обертаннях геоблоків в результаті здвигових дислокацій утворюються зони як підвищених, так і зменшених тектонічних напружень – зони розтягу або "тіньові геодинамічні зони", в яких активно протікають флюїодинамічні процеси, що викликають формування вторинних деформаційних структур, які можуть вміщувати пастки для вуглеводнів, і сприяють процесам міграції та акумуляції в них вуглеводнів.

У статті наведено результати регіональних геотектонічних досліджень, що дозволяють поширити принципів уявлення про роль процесів об'ємної тектонічної течії активізованих порід фундаменту на колізійних етапах геодинамічної еволюції континентальної земної кори на області внутрішньоплитного тектогенезу, до яких належить ДДП. Для вивчення СТТ використовувались структурно-парагенетичний і кінематичний методи аналізу структурних рисунків, які дозволили діагностувати такі механізми деформації первісного структурного плану, як поздовжнє і поперечне переміщення геоблоків з ротаційною складовою рухів відносно простягання геоструктури палеорифту, різноспрямовані кінематичні форми вигинання первісних структурних форм в горизонтальній площині у вигляді деформаційних структур витискання і нагнітання, а також спільні горизонтальні переміщення ансамблів геоблоків за супряженими системами здвигів.

Огляд попередніх публікацій і досліджень. Концепція реологічного розшарування і тектонічної рухомості гірських порід різних поверхів земної кори найбільш повно висвітлена А. Пейве, В. Буртманом, Л. Расцветаєвим, А. Лук'яновим [1, 2, 3, 4], Е. Паталахою [5, 6], О. Слензаком [7], А. Радзивиллом, І.Майдановичем [8, 9], Б. Чиковим [10], М. Леоновим [11], В. Корчемагінім [12, 13], О. Гінтовим [14], які вивчали ускладнюючий вплив деформації тектонічної течії на структурний стиль літосфери.

Наявність горизонтальних переміщень геомас, що викликані перетіканням дислокованих гірських порід від стрес-метаморфічних зон до ділянок менших тектонічних напруг стискання, або так званих "геодинамічних сховищ", спочатку була доведена при дослідженнях кінематики структур складчастих поясів, а згодом кратонів, М. Коппом [15, 16], Н. Короновським та ін. [17], Е. Anderson [18], R. Freund [19], P. Tapponnier, P. Molnar [20], L. Carter et al. [21], A. Sylvester [22].

Відомо, що концепція здвигової тектоніки (strike-slip tectonics) щодо локальних деформаційних структур, які утворюються за механізмом

горизонтального здвиження [15-22], базується на моделі простого здвигу Риделя. Згідно моделі, у зонах здвигу формуються кулісні синтетичні (R) та антітетичні (R') сколи, які складають, відповідно, гострий (~20°) і близький до прямого кути до головної вісі здвиження, а також куліси тріщин відриву (T), P, L-сколи і кулісні ряди прирозломних складок (F) з орієнтацією шарнірів паралельною до вісі максимальних напруг стискання (σ_1). Застосування моделі простого здвигу дозволяє вивчати складні природні сполучення геодинамічних режимів і відповідаючих їм структурно-кінематичних парагенезів (рис. 1.Б, 3).

Всього виділяється п'ять природних елементарних обстановок (рис. 1.А): 1 – горизонтальне стискання; 2 – горизонтальне розтягання; 3 – горизонтальний здвиг вздовж горизонтальної площини; 4 – горизонтальний здвиг вздовж вертикальної площини; 5 – вертикальний здвиг вздовж вертикальної площини. В умовах внутрішньоплитних геоструктур спостерігаються певні сполучення елементарних обстановок, тому і структурні парагенези не завжди формуються в єдиній елементарній обстановці, а при їх інтерференції, зазвичай у двох обстановках. По-перше, це обстановка трансенсії, яка утворюється при горизонтальному здвиженні вздовж вертикальної площини в умовах горизонтального розтягу, по-друге, це режим транспресії, що є результатом інтерференції горизонтального здвиження вздовж вертикальної площини при горизонтальному стисканні по нормалі до неї [17].

Структурні парагенези, що утворюються при сполученнях двох геодинамічних обстановок представлені "квітковими структурами" [22], або структурами типу "duplex" (Twiss & Moores, 1992). Для режиму трансенсії – це структури типу "пальмове дерево" або "extensional duplex", які утворюють западини типу "pull apart basin" різної морфології у парагенезі зі скидами (рис.2.А.а), а для обстановки транспресії характерні структури "тюльпан" або "contractional duplex", які представлені підняттями рельєфу у супроводі підкидів та насувів (рис. 2.А.б).

На можливість внутрішніх переміщень геоблоків вздовж простягання ДДП вказував О. Слензак (1984). Тектонічні рухи він пов'язував із перетіканням дислокованої речовини активізованих геомасивів за механізмом пластичної деформації у зонах "тертя-качіння" кристалічного фундаменту з утворенням вторинних деформаційних структур. Аналізуючи структурний рисунок аномалій магнітного поля він виділив дві таких зони. Першу складають Червонопартизансько-Ічнянська, Гнединцівсько-Розбишівська, Сагайдацько-Диканська дугові структури в північно-західному сегменті, а на південному сході Хрестищенська і

Шебелинська дуги складають другу зону. Дугові структури розміщуються взаємно паралельно вздовж вісі грабену, причому їх фронтальні частини спрямовані на південний схід (рис. 3.а).

А. Радзивилл та ін. (1979) вивчали прояви епі- та субтектонічних процесів руху солі, глин, магматичних та інших гірських порід, які набувають в умовах нерівномірно-напруженого геодинамічного поля властивостей пластичної течії. На карті тектоно-магматичних структур неотектонічного етапу розвитку, згідно "структурно-геоморфологічної моделі Дніпровсько-Донецької субгеосинкліналі", виділено дев'ять тектоно-магматичних дуг, фронтальні частини яких спрямовані, на відміну від моделі О. Слензака, на північний захід. Дуги розділяють структуру палеоофту на дев'ять поперечних блоків, які чергуються з ними через 40-50 та 80-85 км. Тектоно-магматичні дуги контролюють девонські і більш молоді вулканічні центри і окремі тіла, які утворюють позитивні елементи рельєфу фундаменту, причому інтенсивне осадконакопичення характерно для їх занурених крил, де розміщуються депресії і кільцеві підняття (рис. 3.б).

Дані моделі підтверджують мої принципові уявлення про регіональний прояв горизонтально-здвигового поля напруг в режимі інтерференції із загальноплитними обставинками колізійного стискання на пострифтових етапах еволюції та відповідають отриманим мною даним по кінематиці горизонтальних переміщень геомас гірських порід у палеорифті, які призвели до формування регіонального плану деформацій тектонічної течії, значно ускладнюючи його первісну рифтогенну, розломно-блокову структуру, що буде проілюстровано нижче. Але, із наведених прикладів також очевидно, що без залучення тектонофізичних даних, достовірне виявлення та картування вторинних деформаційних структур з горизонтальною складовою переміщень не можливе, через що у попередніх дослідженнях на виході було виділено уможлидні утворення, що не мають природних аналогів, на кшталт "структурних дуг зон тертя-качіння" [7], та "тектоно-магматичних дуг" [8], які не є геологічними об'єктами у структурі палеорифту.

Тектонічні механізми утворення геоструктур правильної дугової та овальної морфології, вивчались у полі О. Гінтовим та ін.(2016) на Українському щиті. Показано (рис. 1 в [14]), що дугові структурні форми гірських порід, які прилягають до розломів, є структурами підвороту і складками волочиння, що сформовані в зонах їх динамічного впливу за рахунок горизонтальних пересувань крил. Відсутність плікативних переходів від антикліналей до синкліналей, може свідчити, що

овальні структури є гігантськими "будінами-овоїдами", утвореними при формуванні зон здвигу за механізмом крихко-в'язкої деформації при транспресії. У зонах стрес-метаморфізму, при підвищених Р-Т умовах активізовані геоблоки, що розташовані між супряжених субпаралельних систем здвигових зон, пересуваються із одночасним обертанням, тобто "обвальцюються", набуваючи овальної форми.

Польовими дослідженнями В. Корчемагіна, В. Ємця (1987) в Донецькій складчастій споруді встановлено переважання структурних форм, простягання яких відповідає азимутальній орієнтації параметрів поля тектонічних напруг пізньогерцинського етапу тектоногенезу, коли вісь головних нормальних напруг стискання σ_1 у регіональному плані була орієнтована перпендикулярно до вісей герцинських складок, що простягаються паралельно головній вісі напруг розтягання σ_3 . На відміну від герцинських рифтогенних ортогональних напрямків регіонального поля палеонапруг, в полі напруг платформеного мезозойсько-кайнозойського етапу головні вісі тектонічних напруг розташовувались в діагональних системах регіональних розломів: вісь напруг стискання σ_1 – у північно-східних румбах, вісь напруг розтягання σ_3 – у південно-західному напрямку. Це зумовило формування вздовж обох супряжених діагональних систем "накладеної" складчасті, яка суттєво ускладнила первісну рифтогенну структуру герцинського поверху та викликала складкоутворення у мезозойському комплексі з переважаючим північно-східним напрямком простягання. Виникнення молодого- мезозойського та новітнього- палеоцен-антропогенного полів геодинамічних напруг, які зафіксовано в гірських породах, пов'язано, за даними тектонофізичних досліджень зон розломів Микитівського рудного поля, з правим здвиганням вздовж регіональних поздовжніх систем розломів фундаменту.

Ці дані було враховано в роботі при визначенні головних параметрів регіонального тектонічного поля палеонапруг колізійних етапів тектоногенезу.

Мета і задачі досліджень. Метою регіональних геотектонічних досліджень є вивчення структурних особливостей прояву пострифтових фаз тектоногенезу у сучасній архітектурі докембрійського фундаменту ДДП, для чого вирішувались завдання:

- вивчення географічного поширення та тектонічної позиції структурних зон горизонтально-здвигових дислокацій у поверхні фундаменту;
- вивчення кінематики горизонтальних

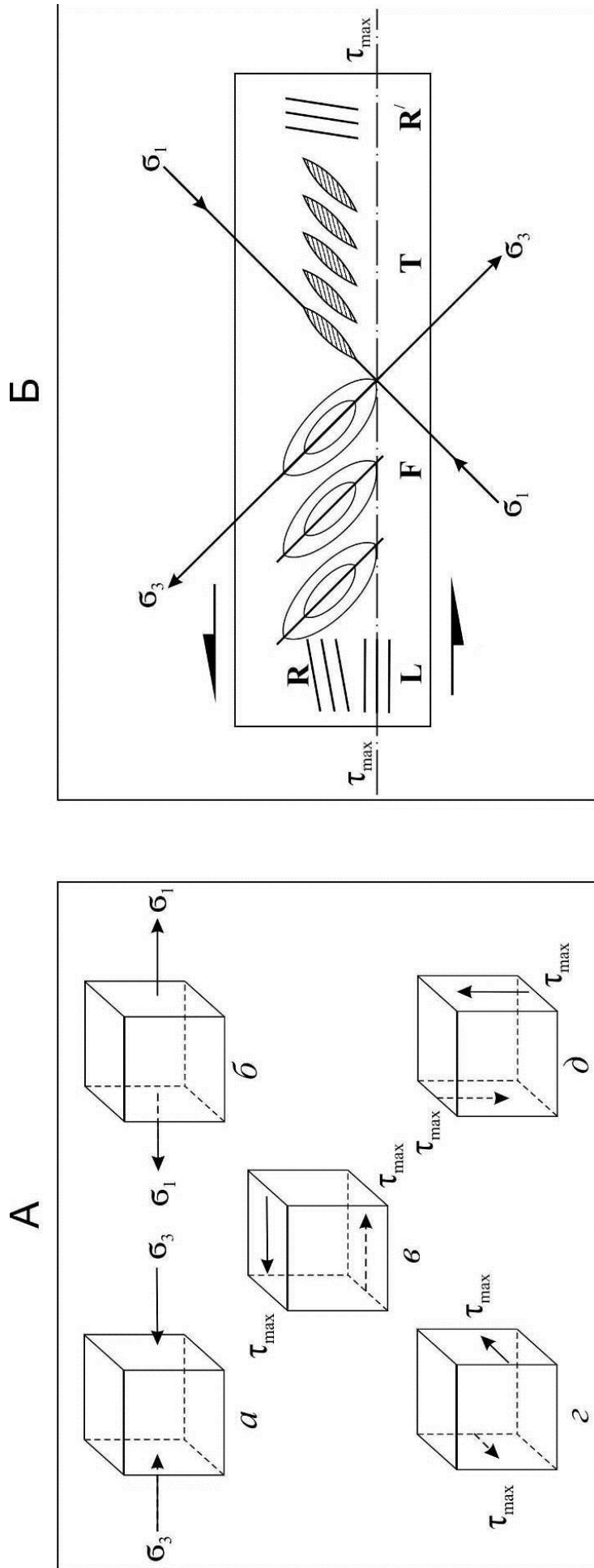


Рис. 1. А. Элементарні геодинамічні обстановки: а – горизонтальне стиснення, б – горизонтальне розтягання, в – горизонтальне розтягання, г – горизонтальне стиснення, д – вертикальний зсув у вертикальній площині (зсув), е – вертикальний зсув у вертикальній площині (зсув), ж – вертикальний зсув у вертикальній площині (зсув), з – вертикальний зсув у вертикальній площині (зсув), [за А. Короновським, 2009].

Б. Деформаційні диз'юнктивні та плікативні структури, які формуються у комбінованих обстановках горизонтального зсуву вздовж вертикальної площини (лівий зсув у плані) при стисненні (транспресія) та розтяганні (транстенсія), [за М. Гончаровим, (2005) з доповненнями О. Баргашука]

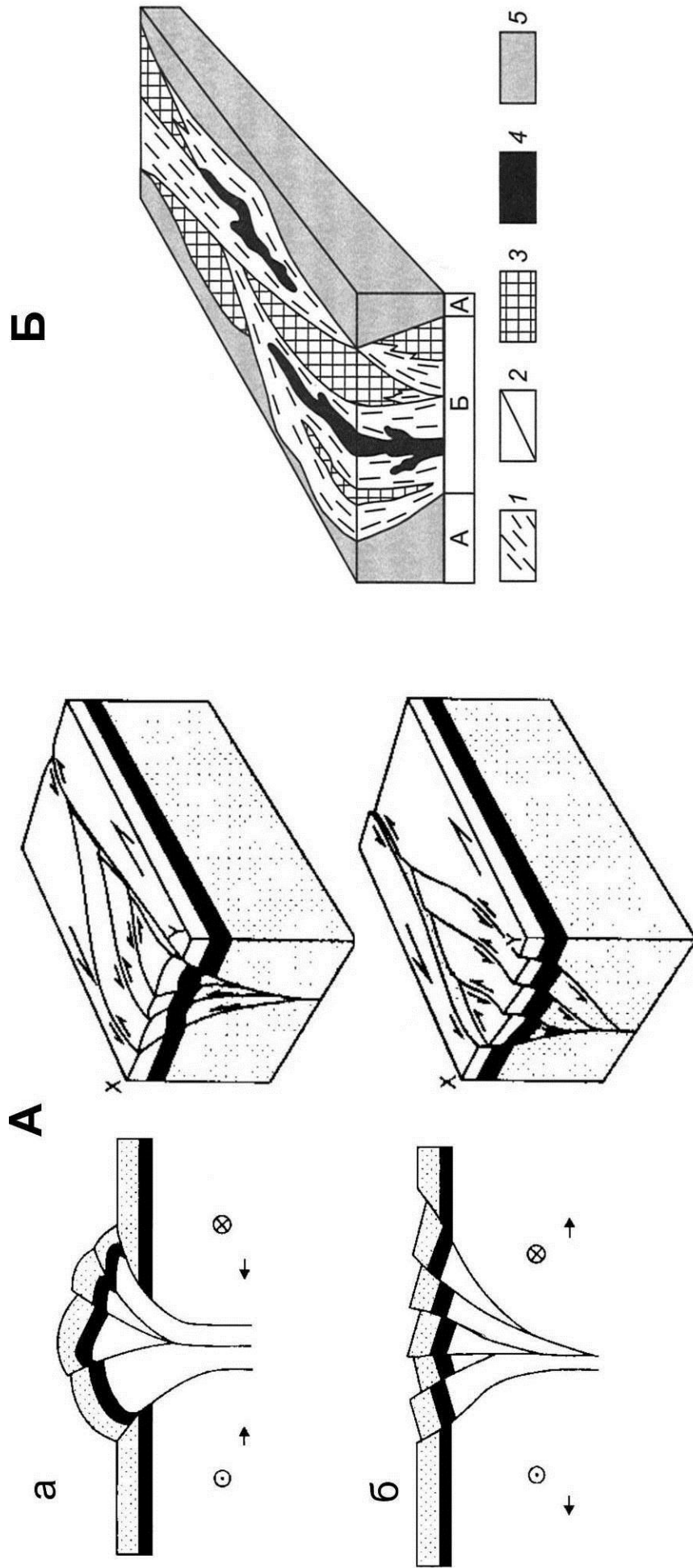


Рис. 2. Моделі структурних парагенезів тектонічної течії: А. моделі "квіткових структур" у деформаційних зонах: а – транспресії (дуплеке стискання – contractional duplex), б – транстенсії (дуплеке розтягу – extensional duplex) [за Twiss & Moores, 1992].
 Б. модель деформаційно-метаморфічної зони здвигового типу [за В. Чиковим, 1992]: 1 – комплекс тектонітів, 2 – реліктові блоки субстрату, 3 – дайково-плутонічні стресс-комплізитні "тіла-включення", 4 – розломи, 5 – структурно-речовинні комплекси субстрату

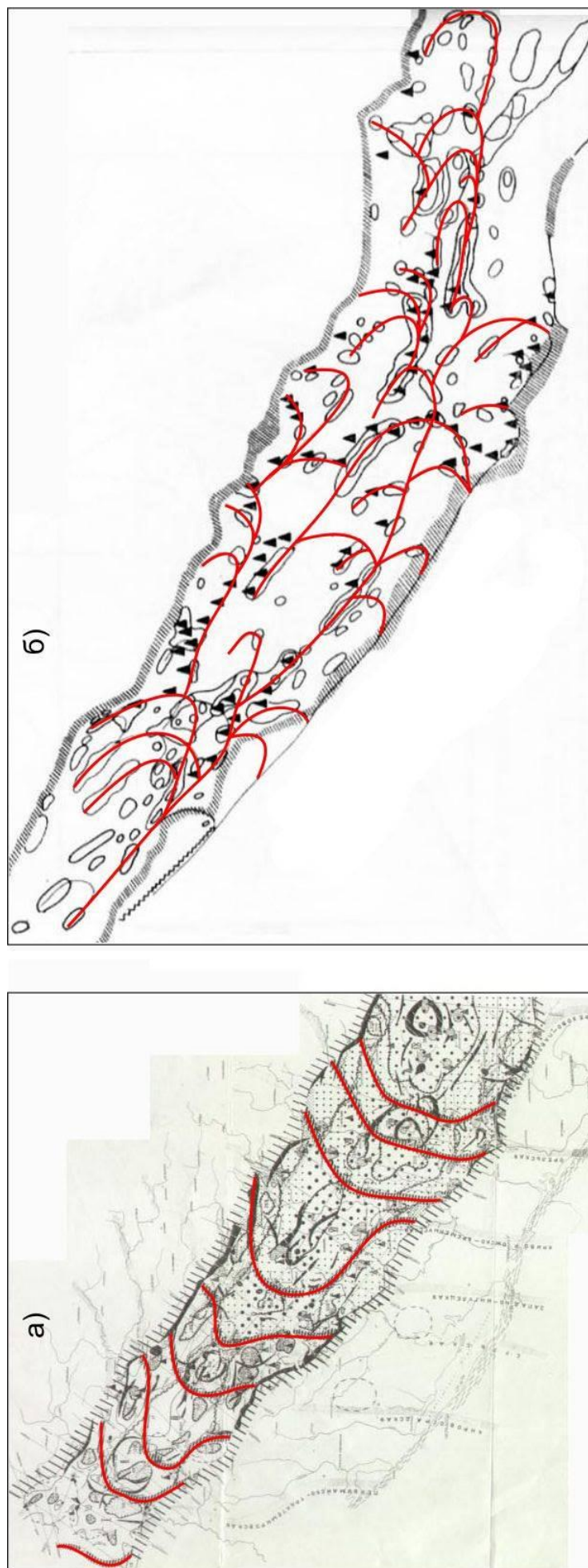


Рис. 3. Структурні схеми горизонтальних тектонічних дислокацій у Дніпровсько-Донецькому палеорифті:
а - схема новітніх тектоно-магматичних дуг, згідно регіональної структурно-геоморфологічної моделі (А. Радзвилл та ін., 1978 р.); б - схема дугоподібних структурних ліній "зон тертя- качіння", згідно регіональної моделі пластичної деформації активізованих геомасивів (О. Слензак, 1984 р.)

переміщень і механізмів деформацій активізованих геомасивів та відповідаючих їм структурних рисунків;

– діагностика морфогенетичних типів структурно-кінематичних парагенезів тектонічної течії.

Матеріали та методи досліджень. Методичний підхід визначався доцільністю комплексування структурно-кінематичного і парагенетичного методів тектонофізичного аналізу при вивченні плікативних структур, утворених за механізмами простого здвигу Риделя. Структурний план фундаменту розглядався з позицій прояву вторинних структурних ускладнень пострифтових етапів еволюції палеорифту, що відбувались в обстановці загальноплитних колізійних напружень тангенціального стискання в умовах їх інтерференції з новітнім регіональним горизонтально-здвиговим геодинамічним полем напруг. Враховуючи це, дослідження були спрямовані на вивчення кінематичних механізмів здвигової тектоніки, що призвели до формування вторинних деформаційних структур тектонічної течії та їх структурно-кінематичних парагенезів, які мають відбиття в архітектурі фундаменту у вигляді характерних здвигових структурних рисунків.

Для морфогенетичної діагностики структурних парагенезів тектонічної течії застосовувався парагенетичний метод аналізу структурних рисунків із використанням принципів кінематичних моделей та структурно-кінематичних індикаторів здвигових структурних парагенезів за даними [14-22] (рис. 1.Б).

Вихідними картографічними матеріалами при регіональних геотектонічних дослідженнях були:

1 – карта поверхні докембрійського фундаменту (М. Манюта, 1987);

2 – схема гідрографічної мережі в масштабі 1:500000. Фактичну криволінійність тектонічних порушень і річкових русел було перетворено в дискретну сукупність лінементів загальною кількістю близько 18 000 елементів, яка склала вихідну аналітичну електронну базу даних.

Для просторової реконструкції полів геодинамічних напруг минулих епох тектогенезу використовувалась концептуальна схема просторово-часової реалізації геодинамічних напруг та еволюції структурних планів у ДДП, яка надана в попередній статті на рис. 3 [23].

Виклад основного матеріалу. Предметом даних досліджень є структурний парагенез – "сукупність структурних форм, утворених у спільній геодинамічній обстановці" [17]. Деформаційні структурні парагенези тектонічної течії, які виділяються вперше в окремий тип вторинних тектонічних структур Дніпровсько-Донецького

палеорифту, являють собою чітко виразні у рельєфі фундаменту дугові, еліпсоподібні, овальні диз'юнктивні і плікативні структурні форми із складною будовою, лінійно-площинною неоднорідністю деформацій і фрактальністю-подібністю та вкладеністю будови різнорангових структурних елементів. На "чотирьохелементній" моделі деформаційно-метаморфічних зон лінеаментного типу [10], яку в даній роботі прийнято за принципovu при регіональних тектонофізичних дослідженнях структурних проявів динамічної тектоніки тектонічної течії у палеорифті, відображено загальні структурно-морфологічні особливості внутрішньої будови зон тектонічної течії (рис. 2.Б).

На першому етапі досліджень вивчались географічне поширення і тектонічна позиція новітніх зон здвигу в регіональних системах тектонічних порушень фундаменту, в зонах динамічного впливу яких формуються дислокаційні структури тектонічної течії. Із використанням встановлених у попередніх дослідженнях [15-22] структурно-кінематичних індикаторів (рис. 1.Б, 2.А), на карті поверхні фундаменту проводився кінематичний аналіз структурних рисунків регіональних систем розломів. Вивчались морфологічні типи та просторові взаємосполучення розривів, по яких відбуваються горизонтально-площинні переміщення активізованих геоблоків. На цих підставах виділялись структурні парагенези деформації тектонічної течії, проводилась їх морфолого-генетична діагностика з виділенням основних кінематичних типів. Картографічна діагностика просторового поширення і тектонічної позиції зон горизонтально-здвигових дислокацій різновікових фаз тектонічної активізації, у фундаменті палеорифту наведена на рис. 4.

За віком прояву структурних ускладнень первісного рифтогенного рельєфу фундаменту територію палеорифту можна розділити на три поздовжні мегазони:

1 – зони пізньоальпійської активізації, або неотектонічні, охоплює Зачепилівсько-Селідовська мегазона деформацій атичної фази тектогенезу;

2 – зони ранньоальпійської активізації, або молоді, вміщує Чернігівсько-Миргородська мегазона деформацій ларамійської фази тектогенезу;

3 – зони пізньогерцинської активізації, або давні, охоплює Менсько-Луганська мегазона деформацій заальської фази тектогенезу;

Усі зони віку закладення ранішого, ніж пізньоальпійський, були неодноразово активізованими в процесі подальшої еволюції палеорифту. Більшість із них активні в новітній час, що достатньо чітко встановлюється за морфоструктурних ознак та відображенню у спостережених

аномаліях потенційних геофізичних полів і в амплітудах неотектонічних вертикальних рухів, що буде розлого обговорюватись у наступній статті.

У зонах горизонтального здвигу виявлено деформаційні ансамблі переважно криволінійних, дугових, лінзовидних та овальних вторинних структурних форм тектонічної течії кристалічних порід фундаменту. Деякі із них перетинаються більш молодими зонами, внутрішня структура яких представлена типовими ешелонуваними кулісними рядами горизонтально-здвигових структур, утворених за механізмами узгоджених односпрямованих переміщень. Наявність таких характерних структурно-кінематичних парагенезів криволінійної в плані морфології, що накладаються на первинно-лінійну розломно-блокову архітектуру фундаменту етапу рифтингу, встановлена з використанням картографічних матеріалів шляхом створення порівняльних тектонічних схем рифогенних систем розломів та новітніх здвигових систем порушень, що відбиваються в осадовому чохлі, рельєфі денної поверхні, особливо у гідрографічній мережі. Найбільшу концентрацію деформаційних здвигових ансамблів виявлено в прибортових зонах палеорифту, де вони утворюють типові здвигові структурні рисунки, що діагностовано як "квіткові структури", або здвигові дуплекси стискання та розтягання.

На порівняльній схемі (рис. 5) встановлено, що по відношенню до рифтогенної решітки диз'юнктивів, якою зумовлена розломно-блокова будова фундаменту, діагностована у структурі палеорифту система горизонтально-здвигових дислокацій є структурним проявом пострифтових ускладнень його архітектури. Це підтверджується за комплексом геолого-геофізичних ознак: спостерігається криволінійність та крайня невтриманість із згасанням амплітуд майже усіх типів розломів по простяганню і падінню, зміна їх генетичного типу і кінематики з глибиною, наявність інверсійного типу деформаційних структур і реверсного, за А. Тимурзієвим, 2009 [24], типу структуроформуючих розломів, які характеризуються суттєвим переважанням горизонтальних амплітуд переміщень геоблоків в їх крилах над вертикальними.

Наступним кроком досліджень була реконструкція головних параметрів новітнього здвигового поля геодинамічних напруг, яка проводилась з використанням структурно-парагенетичного методу. Для визначення азимутальної орієнтації головних вісей тензору деформацій новітнього етапу тектогенезу застосовано статистичний аналіз кругових роз-діаграм азимутального розподілу регіональних систем диз'юнктивів. Схема та результати діагностики напружено-деформаційного стану земної кори наведені на рис. 5.А.

На підставі отриманих тектонофізичних параметрів встановлено, що з точки зору азимутальної орієнтації зони структурних деформацій тектонічної течії фундаменту закладались за трьома регіональними структурно-динамічними напрямками. В першу чергу, це дві діагональні розломні системи, паралельно до яких у сучасному полі тектонічних напруг розташовані дві взаємно-ортогональні супряжені вісі максимальних тангенціальних напруг ($\tau_{1,2}$). Третім за масштабом прояву напрямком є субширотна гілка ортогональної системи диз'юнктивної сітки, вздовж якої наразі розміщується супряжена із нею вісь головних нормальних напруг розтягу σ_3 . В тектонофізичному відношенні, вздовж вісей $\tau_{1,2}$ формуються діагональні системи трансформних розломів інверсійного етапу тектогенезу. Вони, вочевидь, зумовлюють актуальний структурний план тектонічних деформацій та особливості кінематичної будови здвигових структурних ансамблів, що формуються у регіональному полі напруг вздовж субширотно розташованої структуроформуючої вісі σ_3 . (рис. 5.А).

На третьому етапі досліджень вивчались кінематичні механізми деформації тектонічної течії кристалічних порід фундаменту, з врахуванням принципових кінематичних моделей [15-16]. Картографічну діагностику основних кінематичних типів структурних парагенезів здійснено для території південної прибортової зони та привісьової зон палеорифту, де вони найбільш яскраво проявляються, а тому і коректно діагностуються.

Кінематичний аналіз механізмів тектонічної деформації субпаралельних супряжених здвигів та асоційованих з ними ансамблів геоблоків дозволив встановити, що обертання активізованих геоблоків вздовж антитетичних здвигів призводить до видовження первісно-лінійної зони по простяганню. На відміну від антитетичних, синтетичні здвиги деформують лінійну зону дислокацій за рахунок вигинання її обрису в плані. У випадку синхронного розвитку різнойменних за кінематикою здвигів двох супряжених систем поступово відбувається кричко-в'язка деформація здвигової зони з формуванням дугоподібних та лінзовидних в плані вторинних деформаційних структур тектонічної течії, що раніше було встановлено для складчастих геоструктур М. Коппом (1991).

При цьому було з'ясовано, що на ділянках збільшення тектонічних напруг, в геодинамічних умовах транстенсії, відбувається інтенсивне горизонтальне витискання геомас в напрямку "геодинамічних сховищ." Головними елементами структурних рисунків тут є структурні дуги стискання. У тектонофізичному сенсі вони є антитетичними здвигами, які в процесі здвигових дис-

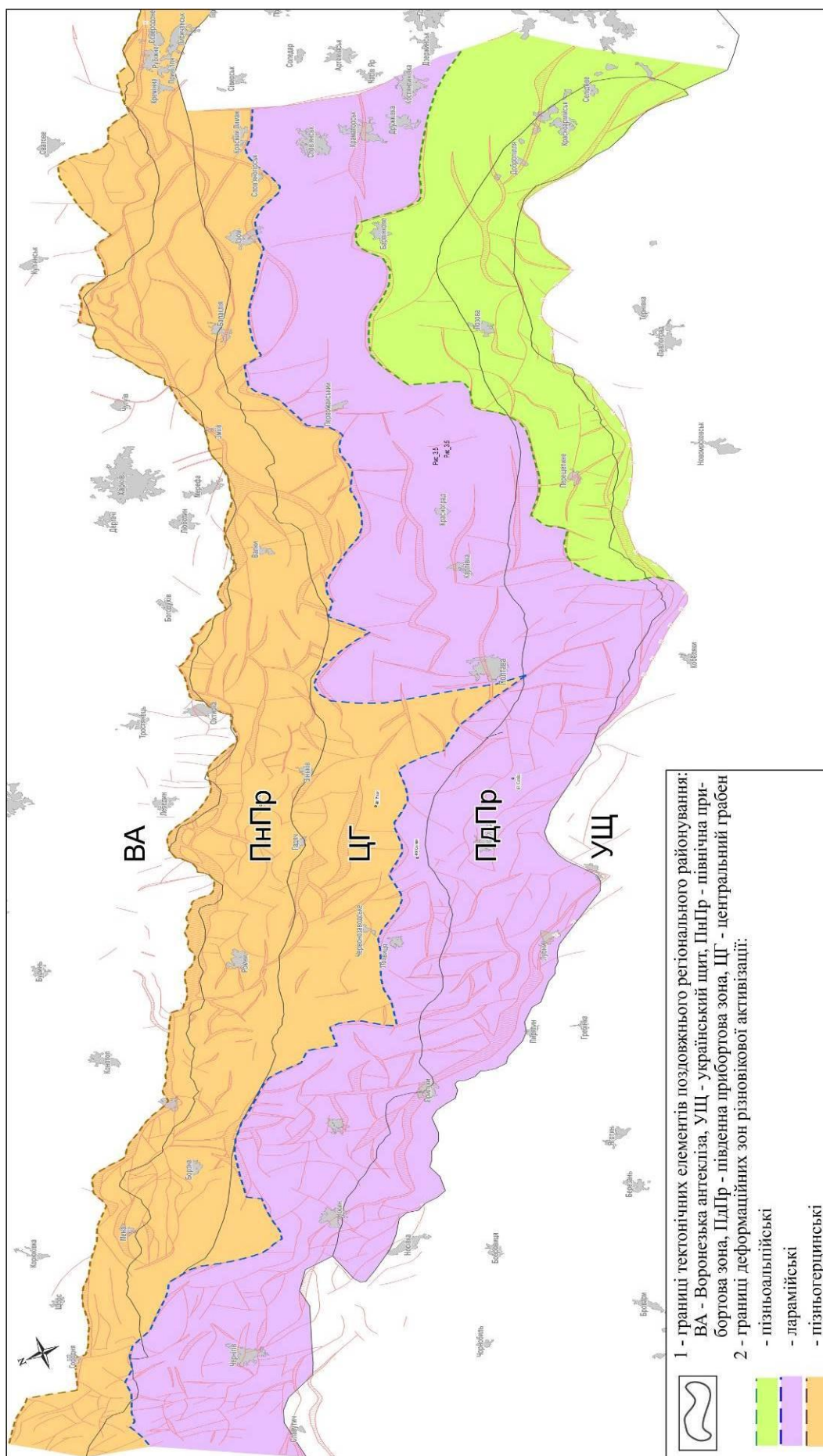


Рис. 4. Схема територіального поширення і тектонічної позиції структурних зон горизонтально-здвигових дислокацій Дніпровсько-Донецького палеорифту

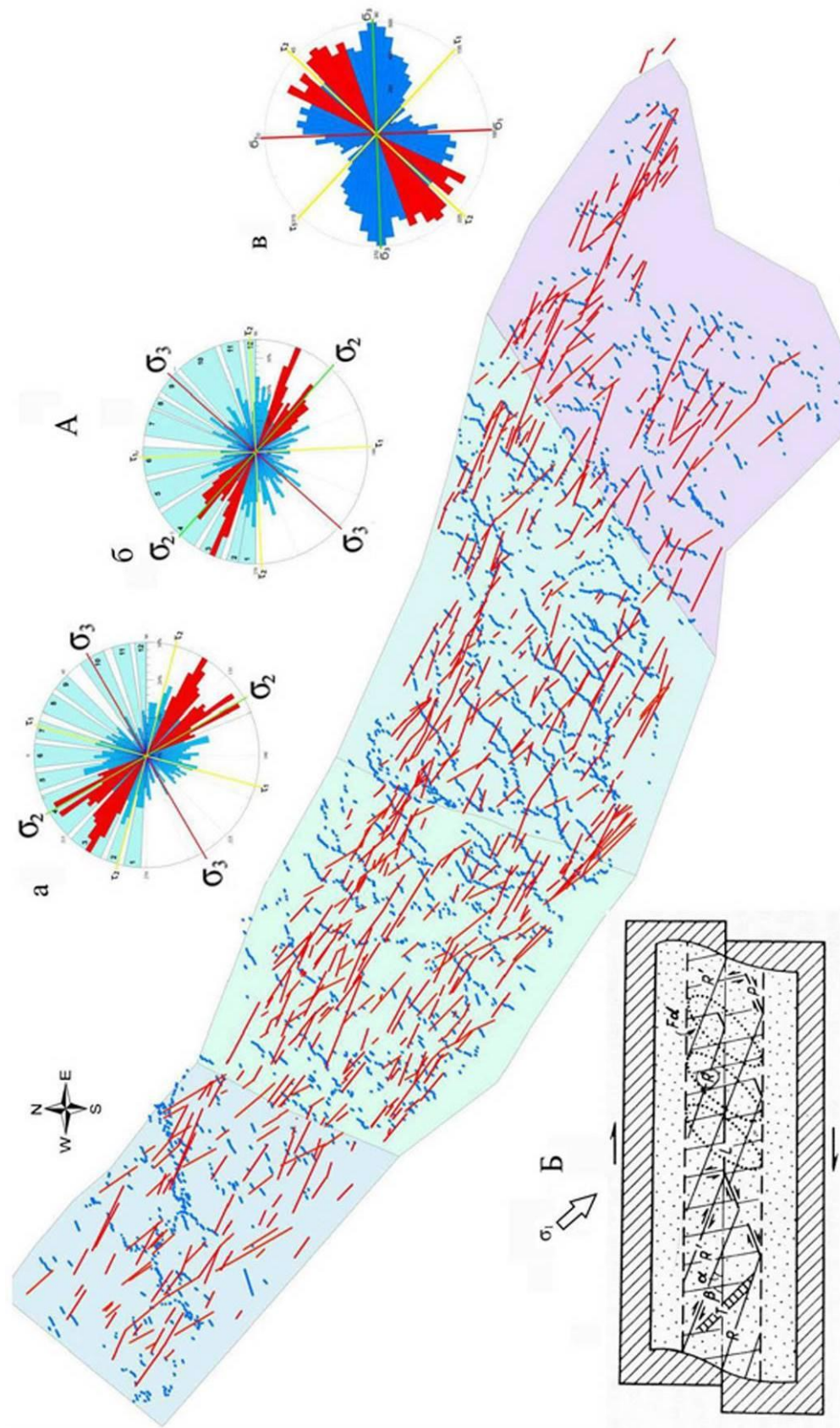


Рис. 5. Порівняльна схема рифтогенних діагональних систем розломів в кристалічному фундаменті і осадовому чохлі та рельєфі денної поверхні на візках: А – рози-діаграми азимутального розташування регіональної сітки тріщинуватості; а – у докембрійському фундаменти; б – в осадовому чохлі (σ_1, σ_2); в – в рельєфі денної поверхні з діагностикою рифтогенних систем розломів та головних вісей поля геодинамічних напружень; Б – модель вторинних деформаційних структурних парагенезис зон горизонтально-здвигових дислокацій із напрямком найбільшого стисання (σ_1) та кінематикою рухів (за С. Стояновим, 1977)

локацій зазнають обертання в бік вісі розтягання. На ділянках вивантаження витисненого геоматеріалу, на границях із «геодинамічними сховищами», поздовжнє переміщення геомас компенсується за рахунок утворення дугоподібних деформаційних структур, морфологічно представлених поздовжніми ороклинами вигинання, сформованими за кінематичним механізмом поздовжнього витискання. Фронтальні частини дуг обернені в напрямку ортогональному до вісі палеорифту і складені розломами типу зворотних скидів або підкидів (рис. 6).

У більш складному випадку, якщо геомасів, що деформується, ще й розбивається субпаралельними вторинними здвигами однойменної кінематики на декілька окремих жорстких блоків, останні обертаються в горизонтальній площині подібно до купки кісточок доміно, утворюючи типові «структури-доміно», як було раніше доведено для рухомих поясів М. Коппом (1991). Наприклад, таким чином побудовані фронтальні частини природних ороклинів вигинання у південній прибортовій зоні палеорифту, на ділянці Чернігів – Ічня – Лохвиця – Миргород – Полтава (рис. 6).

На ділянках зменшення тектонічних напруг, в геодинамічній обстановці транспресії, відбувається горизонтальне розтікання геомас з утворенням структурних ансамблів субпаралельних дуг розтягання. Морфологічно такі парагенези є типовими квітковими структурами або дуплексами розтягу (рис. 2.А). Характерним для південної прибортової зони палеорифту прикладом структурного парагенезу розсування, сформованого за комбінованим кінематичним механізмом внаслідок різноспрямованих обертань ансамблю трьох сполучених геоблоків вздовж двох супряжених діагональних систем горизонтальних здвигів різнойменної кінематики є Михайлівська дугоподібна структура розтягу (рис. 7), яка розташована над Верховцевсько-Льговським глибинним розломом.

У вісьовій зоні південно-східної частини палеорифту, в межах Машівської та Орчиківської субрегіональних депресій, виявлено крупні структурні парагенези овальної морфології. Вони сформовані завдяки прояву здвигових деформацій, за кінематичним механізмом тектонічного мегабудинажу, згідно О. Гінтова (2016). При зворотньо-поступальних пересуваннях активізованих мегаблоків вздовж субпаралельних горизонтальних здвигів однойменної кінематики синклінальні структури можуть набувати еліпсоподібних форм, утворюючи овальні структурні западини, які за морфологією значно відрізняються від рифтогенних, первісно прямокутних грабенових структур типу pull-apart basin (рис. 8).

Нарешті, найменш поширеним за площею типом деформаційних структур тектонічної течії, якій виявлено лише у південно-східному сегменті палеорифту, є поперечні тектонічні дуги стискання. На відміну від поздовжніх дуг, вони сформовані за кінематичним механізмом поперечного висування, утворюючи горизонтально-здвигові структури типу підкидових ороклинів, поперечних до простягання палеорифту. Морфологічно вони являють собою чітко перетинаючі більш давні поздовжні СТТ, новітні структурні ансамблі субпаралельних дуг стискання, фронтальні частини яких обернені на північ-північний захід. В системі диз'юнктивів фундаменту вони використовують обидві діагональні системи розломів, утворюючи характерні структурно-кінематичні парагенези поперечного висування. За геологічних ознак встановлено, що поперечні підкидові ороклини є проявом структурних дислокацій новітньої, атичної фази пізньо-альпійського етапу тектогенезу (рис. 8).

Усі вивчені структурно-кінематичні парагенези є яскравим відбитком структурних ускладнень рифтогенної архітектури докембрійського фундаменту ДДП, які відбувались на колізійних етапах тектогенезу в геодинамічних умовах інтерференції регіонального горизонтально-здвигового поля напруг із внутрішньо-плитними обстановками загального стискання. Подальше теоретичне обґрунтування цієї концепції динамічної геотектоніки потребує залучення додаткових геолого-геофізичних матеріалів, тому є темою моїх наступних досліджень.

Висновки. Завдяки застосуванню оригінального комплексу тектонофізичних методів досліджень отримані нові теоретичні результати з регіональної геотектоніки:

1 – внутрішня об'ємна тектонічна рухомість докембрійського фундаменту проявляється в утворенні на колізійних етапах тектонічної еволюції лінійних зон горизонтально-здвигових дислокацій, що формуються у регіональних системах розломів, неодноразово активізованих у перемінному регіональному полі напруг в інтерференційних геодинамічних обстановках трансенсії і транспресії;

2 – механізми здвигової тектоніки в умовах стрес-метаморфізму викликають формування вторинних деформаційних структур тектонічної течії, які відбиваються у рельєфі фундаменту у вигляді характерних здвигових структурних рисунків і зумовлюють новітню складчасту будову фундаменту;

3 – по результатах кінематичного аналізу структурних рисунків в поверхні фундаменту було діагностовано чотири основні механізми формування структур тектонічної течії в зонах

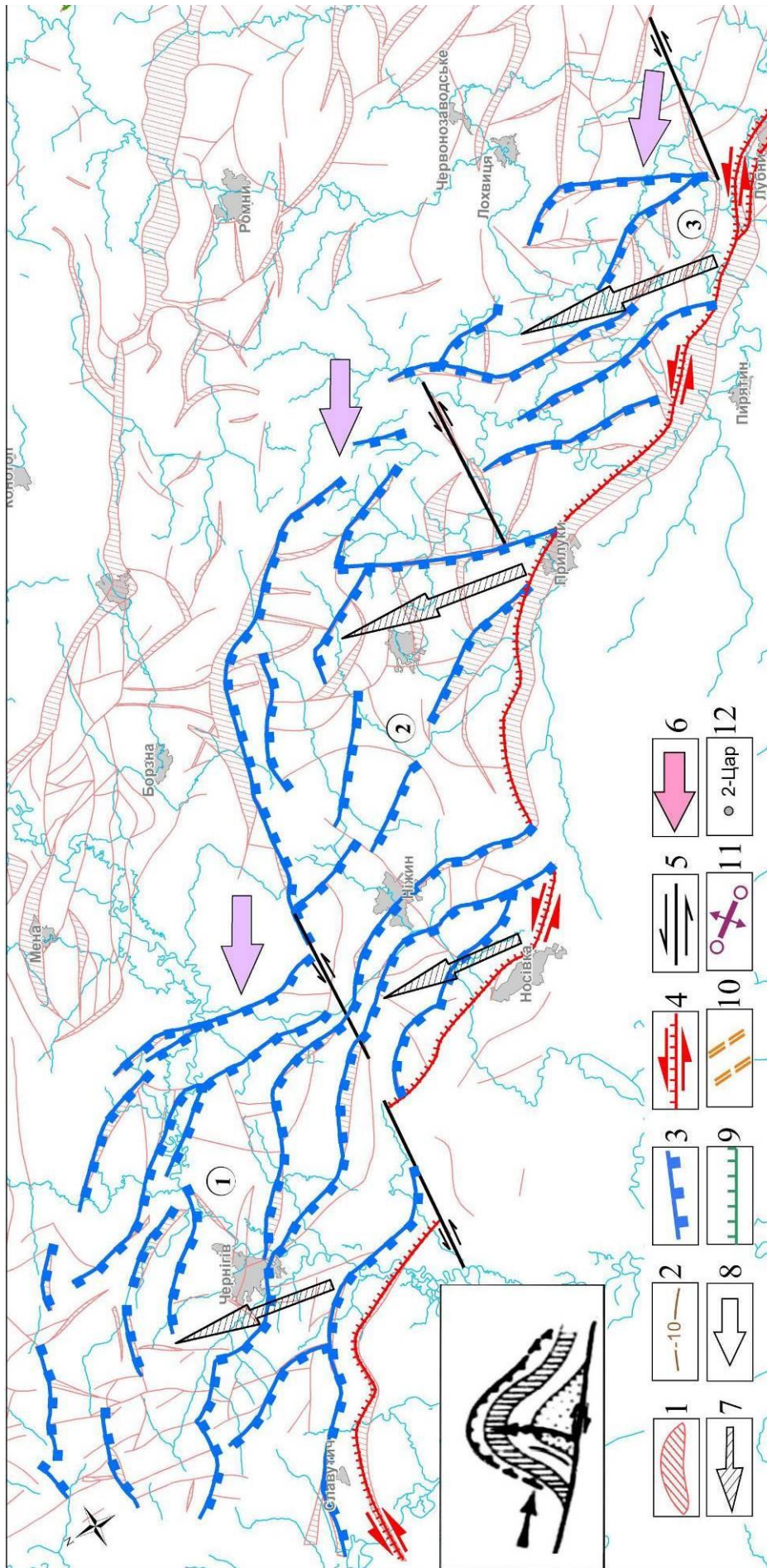
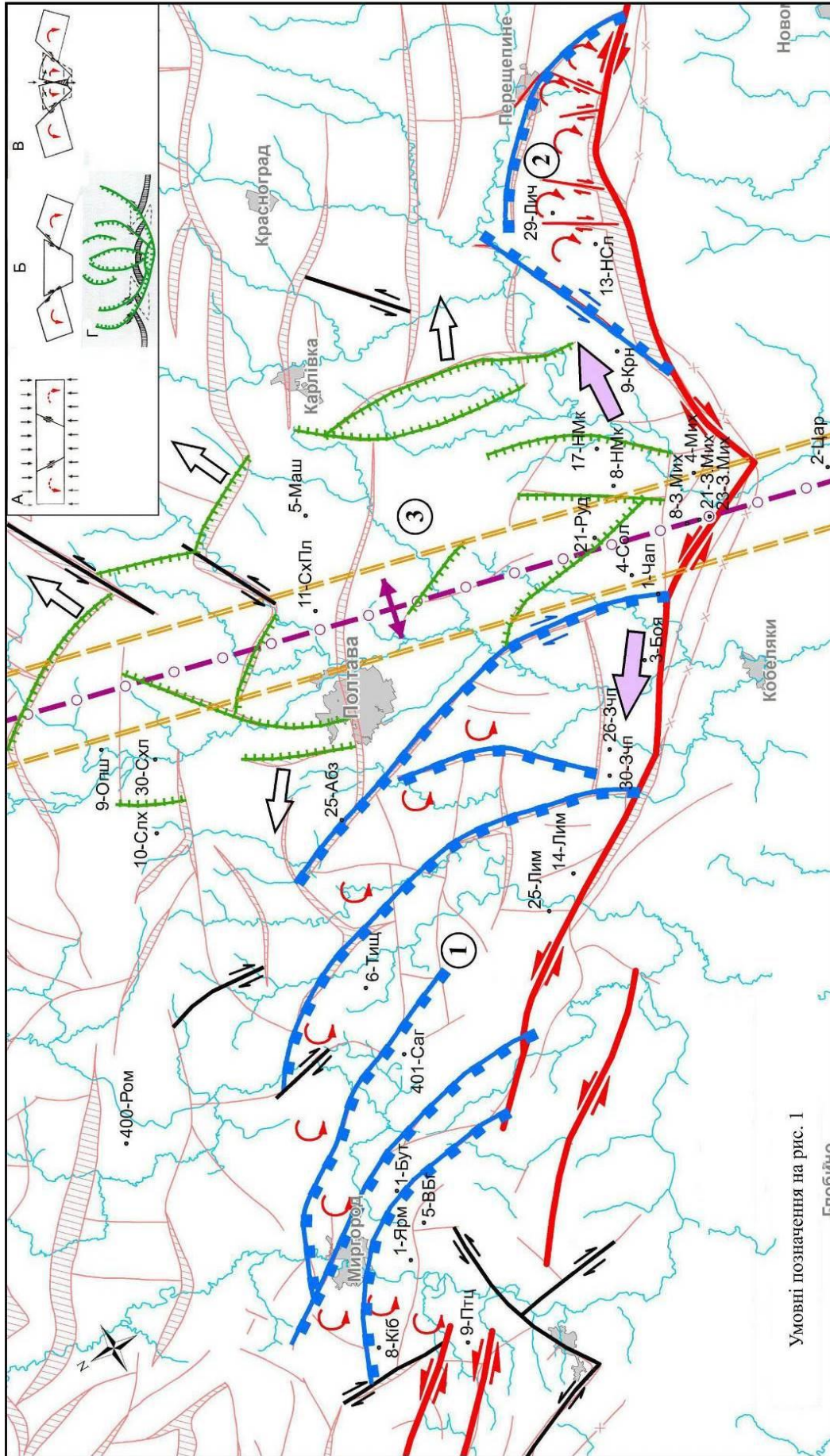


Рис. 6. Кінематика кулісного ансамблю трьох структурних парагенезів тектонічної течії фундаменту, сформованих в обстановці транспресії за рахунок поздовжнього вигину геомас у горизонтальній площині.

На врізці: кінематична модель [М. Кош, 1991]. ① - ③: деформаційні орокліни вигинання: ① – Чернігівський, ② – Ніжинсько-Ічнянський, ③ – Прилуцько-Лубенський; 1 – розломи фундаменту; 2 – ізогіпси поверхні фундаменту [М. Манюта, 1987]; 3 – структурні дуги стискання; 4 – крайовий здвиг-скід; 5 – здвиги-трансформи; 6 – напрямки загального переміщення геомас; 7 – напрямки витискання і здвигової течії; 8 – вектори локального розтягу; 9 – розриви розтягу-відриву; 10 – трансрегіональні зони активізації; 11 – вісь кінематичної симетрії; 12 – свердловини

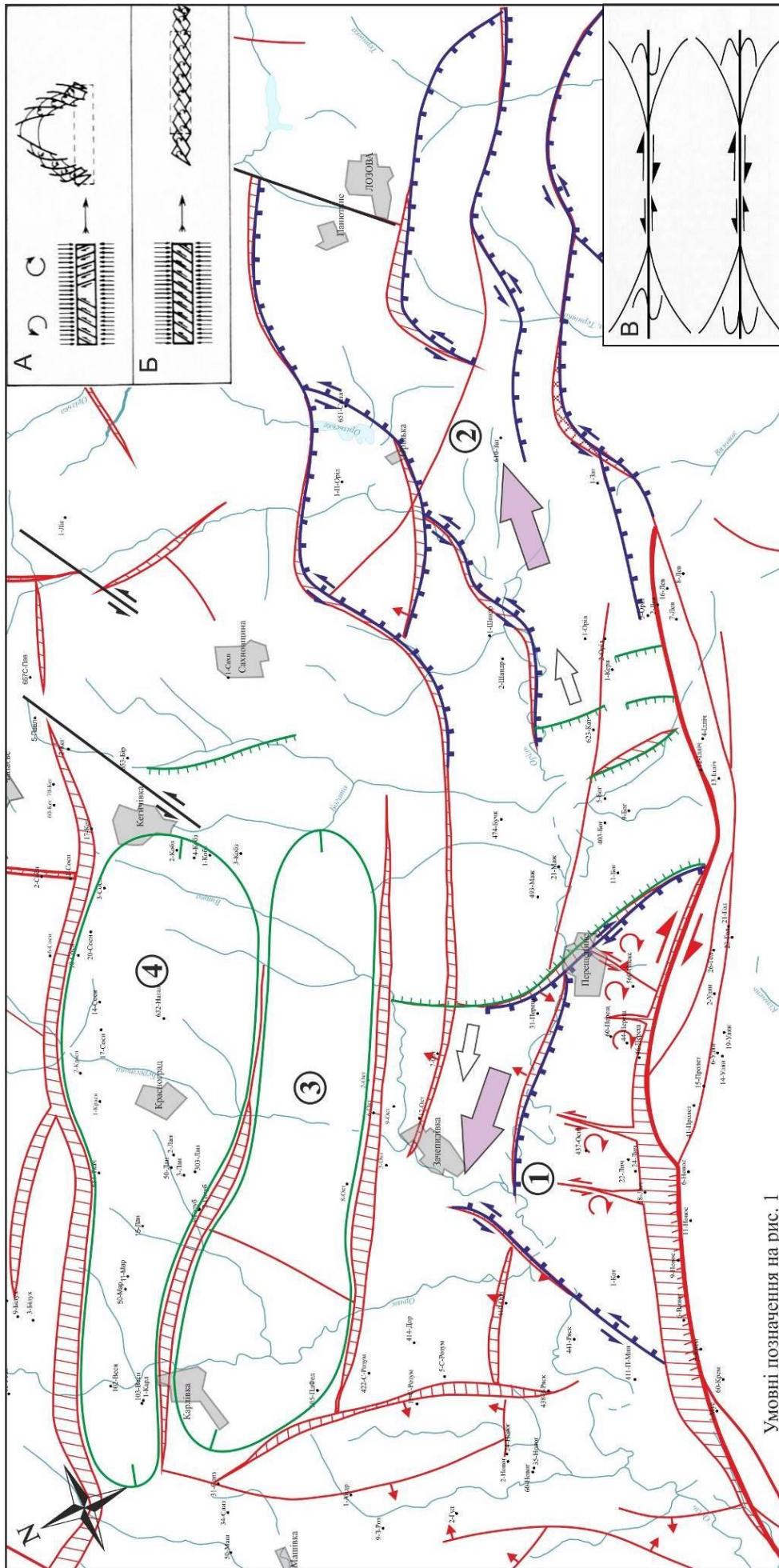


Умовні позначення на рис. 1

Глобійно

Рис. 7. Кінематика ансамблю трьох структурних парагенезів тектонічної течії фундаменту, сформованих в обстановці трансесії різноспрямованими обертаннями геоблоків за двома супряженими діагональними системами різноімпульсних здвигів у південній прибортовій зоні ДДП.

На врізці: А – В принципова модель, Г – структурний рисунок [М. Кошп, 1991]. Цифри ①, ② – природомні структурні парагенези поздовжнього вигину в горизонтальній площині, утворені за напрямками діагональних систем розломів: ① – північно-західної – Миргородський; ② – північно-східної – Перешепинський; ③ – ліноподібна структура розтягу – Михайлівська



Умовні позначення на рис. 1

Рис. 8. Кінематика структурних парагенезів тектонічної течії фундаменту, сформованих в обстановках трансресії і здвигання-ковзання. На врізках: кінематичні моделі і структурні рисунки: А – поперечного висування, Б – поздовжнього вигину в горизонтальній площині [за М. Коплом, 1991]; В – тектонічного мегабудинку [за О. Гінтовим, 2005]. Цифри ①, ② – природомні структурні парагенези: ① – поздовжнього вигину в горизонтальній площині – Перещинський, ② – поперечного висування – Лозівський; овальні структурні западини: ③ – Карлівська, ④ – Кегічівська

горизонтально-здвигових дислокацій, які відрізняються за кінематикою та напрямками спільних переміщень геомас гірських порід відносно вісі простягання палеорифту:

– поздовжнє видовження шляхом антітетичних обертань по системах північно-західних діагональних розломів, з формуванням структурних ансамблів типу "кісточок доміно";

– поперечне висування шляхом синтетичних обертань по системах ортогональних та діагональних розломів, з утворенням поперечних і поздовжніх до вісі палеорифту дислокаційних ороклинів вигинання ;

– в окремих тектонічних умовах відбувається комбінація обох кінематичних механізмів (поперечного висування і поздовжнього видовження) за рахунок різноспрямованих підворотів блоків вздовж двох супряжених систем здвигів з формуванням лінзовидних структур розтягу;

– тектонічний мегабудинаж геоблоків в перемінному за кінематикою горизонтально-здвиговому геодинамічному полі напруг, що відбувається за рахунок зворотньо-поступальних переміщень без обертань сусідніх геоблоків, вздовж однойменних субпаралельних систем здвигів в рифтогенній системі розломів, з утворенням овальних будиноподібних структурних форм здвигу-ковзання;

4 – в межах структурних зон здвигових дислокацій фундаменту виявлено три основні мор-

фогенетичні типи структурних парагенезів тектонічної течії, що відповідають переважаючим геодинамічним обстановкам транспресії, трансенсії і здвигу-ковзання:

– ансамблі структурних дуг стискання (дуплекси стискання), що складають поздовжні та поперечні до простягання палеорифту позитивні "квіткові" структурні форми рельєфу фундаменту-кулісні ряди флексур, уступів-щаблів;

– ансамблі структурних дуг розтягання (дуплекси розтягання), що утворюють поперечні до простягання палеорифту від'ємні «квіткові» структурні форми рельєфу фундаменту-лінзовидні мініграбени типу pull-apart basin;

– тектонічно "обвальцьовані" геоблоки – мегабудини, в межах яких формуються від'ємні структурні форми сучасної архітектури фундаменту – овальні структурні западини.

Підбиваючи теоретичні підсумки регіональних геотектонічних досліджень, слід зазначити, що на актуальному етапі пізнання інверсійної тектоніки ДДП, з урахуванням отриманих принципів даних про горизонтальні переміщення геомасивів та вторинне структуроутворення за рахунок тектонічної течії кристалічних порід фундаменту, постає проблема створення принципово нової тектонічної моделі системної організації його регіональної архітектури.

Література

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] // А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3 – С. 36-54.
2. Буртман В. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев. // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.
3. 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.
4. Лукьянов, А. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере [Текст] / А. Лукьянов // Труды ГИН АН СССР. Вып. 460. – М. : Наука, 1991. – С. 144.
5. Паталаха, Е. Механизм возникновения структур течения в зонах сжатия [Текст] / Е. Паталаха. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 216 с.
6. Паталаха, Е. Тектонофациальный анализ складчатых сооружений фанерозоя [Текст] / Е. Паталаха. – М. : Недра, 1985. – 168 с.
7. Слензак, О. Локальные структуры зон напряжения докембрия [Текст] / О. Слензак. – К. : Наук. думка, 1984. – 104 с.
8. Радзивилл, А. Тектонические, тектоно-магматические и структурно-геоморфологические критерии поисков крупных нефтяных и газовых месторождений в Днепровско-Донецком грабене [Текст] / А. Радзивилл, Ю. Куделя, А. Палий и др. // Препринт АН УССР, Ин-т геол. наук, 79-31. – К. : 1979. – С. 52.
9. Майданович, И. Особенности угольных бассейнов Украины [Текст] / И. Майданович, А. Радзивилл. – К. : Наук. думка, 1984. – 120 с.
10. Чиков, Б. Сдвиговое стресс-структурообразование в литосфере [Текст] / Б. Чиков // Геология и геофизика, 1992. – № 9 – С. 3-39.
11. Леонов, М. Внутриплитные зоны концентрированной деформации: тектоническая структура и особенности эволюции [Текст] / М. Леонов // Геотектоника, 2012. – № 6 – С. 3-28.
12. Корчемагин, В. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья [Текст] / В. Корчемагин, В. Емец // Геотектоника, 1987. – № 3 – С. 49-55.

13. Корчемагин, В. Об особенностях формирования брахиантиклинальных складок Никитовского рудного поля [Текст] / В. Корчемагин, Б. Панов // Доклады АН СССР, 1970. – 194, № 3. – С. 653-656.
14. Гинтов, О. Структурно-петрофизическая и тектонофизическая основа геологической карты кристаллического фундамента центральной части Голованевской шовной зоны Украинского щита [Текст] / О. Гинтов, В. Ентин, С. Мычак и др. // Геофизический журнал, 2016. – № 3, Т. 38. – С. 3-24.
15. Копп, М. Структурные рисунки, связанные с продольными перемещениями внутри складчатых поясов [Текст] / М. Копп // Геотектоника, 1991. – № 1 – С. 21-36.
16. Копп, М. Дугообразные структуры растяжения в кинематическом анализе региональных и глобальных тектонических обстановок [Текст] / М. Копп // Геотектоника, 2017. – № 6 – С. 18-36.
17. Короновский, Н. Роль сдвига вдоль горизонтальной плоскости при формировании структур «пропеллерного» типа [Текст] / Н. Короновский, Г. Гогоненков, М. Гончаров, А. Тимурзиев, Н. Фролова // Геотектоника. 2009. – № 5 – С. 50-64.
18. Anderson, E. The dynamics of faulting [Текст] / E. Anderson. – Edinburg: Oliver and Boyd, 1951. – 206 p.
19. Freund, R. Kinematics of transform and transcurrent faults [Текст] / P. Freund // Tectonophysics, 1974. – Vol. 21, № 1/2. – P. 93-134.
20. Tapponnier, P. Slip-line field theory and large-scale continental tectonics [Текст] / P. Tapponnier; P. Molnar // Nature, 1976. – Vol. 264, № 5584. – P. 319-324.
21. Carter, L. Neogene clockwise tectonic rotation of eastern Transverse Ranges, California [Текст] / L. Carter; B. Luenduk, R. Terres // Bull. Geol. Soc. Amer., 1987. – Vol. 92, № 2 – P. 199-206.
22. Sylvester, A.G. Strike-slip faults [Text] / A.G. Sylvester // Geol. Soc. Amer. Bull., 1988. – Vol. 100 – P. 1666-1703.
23. Барташчук, О. Системна організація диз'юнктивної тектоніки консолідованого фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 2. Лінійні зони горизонтально-здвигових дислокацій рифтового етапу [Текст] / О. Барташчук // Вісник ХНУ, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2017. – Вип. 47. – С. 7-17.
24. Тимурзиев, А. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. степ. доктора геол.-минер. наук / А. Тимурзиев. – М. : МГУ, 2009. – 40 с.

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,
Gimnaziyana naberejna, 20, 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.
PART 3. STRUCTURAL-CINEMATIC PARAGENESES OF
HORIZONTAL-SHEAR DISLOCATIONS ZONES**

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.

Zones of both raised and reduced tectonic stresses are formed in the structural and kinematic parageneses - the so-called "shadow geodynamic zones", in which active fluid-dynamic processes contributing to traps formation and accumulation of hydrocarbons in them, are formed.

Objects of research are secondary deformation structures of tectonic flow (STF). Their newest structural-kinematic parageneses and structured drawings on the surface of Precambrian crystalline basement were studied. Horizontal strike-slip dislocations create their modern architectural structure together with relics of the riftogenic structure.

The purpose of the article. The aim of the research is to study structural manifestation of collisional post-tectonic tectogenesis processes in the architectural structure of the DDP crystalline basement. The research tasks are:

- To study the types of tectonic movements and mechanisms of tectonic flow deformations in the foundation and identification of the structural patterns;
- To diagnose morphogenetic types of strike-slip deformation structures of the basement and structural-kinematic parageneses of tectonic flow.

Methods. According to Plates tectonics theory the tectonic-physics method of structural drawings analysis was used to study the basement tectonics. It allows us to diagnose tectonic movements and deformations of geomass, in particular, its longitudinal, transverse and rotational displacement relative to the extension of the paleoriff structure in various kinematic forms of bending in the horizontal plane, extrusion and injection, as well as the adjoining movements of domains - groups of horizontal strike-slip faults ensembles and their created geological blocks.

Results. According to the results of regional tectonophysical studies:

1. It is established that considerable internal tectonic mobility of the Precambrian foundation at the newest stage of the DDP evolution is manifested in the formation of horizontal strike-slip dislocations zones in the regional system of faults activated in the latest geodynamic stress field.

2. The processes and mechanisms of collision tectonics, which caused formation in the knot zones of the deformation structures of the tectonic flow and the formation of strike-slip structural and kinematic parageneses, have been studied. They are reflected in the tectonic plan of the foundation in the form of characteristic structural elements of the structure and determine its modern architectural structure.

3. The three basic tectonophysical mechanisms of horizontal strike-slip islocations, which differ in kinematics and directions of joint horizontal displacements of block domains, relative to the axis of the paleorief strike, are distinguished:

- longitudinal elongation under the mechanism of joint antithyroid rotations of blocks on systems of diagonal strike-slip faults;
- transverse extension of the mechanism of joint synthetic rotation of blocks on systems of orthogonal and diagonal shifts, as well as their complex combination without the rotation of the duplex blocks;
- tectonic megabout by means of coordinated reciprocating movements without rotational component of adjacent blocks along kinematically identical sub-parallel strike-slip faults.

Scientific novelty and practical significance. In the framework of the newest zones of horizontal strike-slip dislocations, three genestic types of structurally-kinematic parageneses, which correspond to the main geodynamic conditions, are established:

- contractional duplexes that form ensembles of longitudinal and transverse to reach the paleorief of positive forms-«palm tree» on the surface of the foundation -structural-tectonic and embrio-tectonic arcs;
- extensional duplexes of the sprawl, forming the negative forms- «flower structures» or pull-apart basine - lens-like minigrabens;
- geological blocks - megabodies of oval form, forming local depressions in the relief of the foundation.

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., 3, 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.*
3. Rastsvetaev, L. (1980). *Natural structural pattern of terrestrial surface & dynamics interpretation. M.: Nauka, 145-197.*
4. Luk'yanov, A. (1991). *Plastics deformations & tectonics flow in lithosphere. Geol.Inst. of Academy of Sciences of USSR, 460, M.: Nauka, 144.*
5. Patalaha, E. (1979). *Forming mechanisms of flow structures in stress-zones. Alma-Ata: Nauka, 216.*
6. Patalaha, E. (1985). *Tectonofacial analyse of phanerozoic dislocational structures. M.: Nedra, 168.*
7. Slenzak, O. (1984). *Precambrian local structural stress-zones. K.: Nauk.dumka, 104.*
8. Radzivil, A., Kudelya, U., Palyy, A. (1979). *Tectonical, tektonic-magmatical & structure-geomorphological hall-marks of giant oil & gas fields survey at Dnipro-Donets grabe. Geol.Inst. of Ukrainian Academy of Sciences, 79-31, 52.*
9. Maydanovich, I., Radzivil, A. (1984). *Features of Ukrainian coal basins. K.: Nauk. dumka, 120.*
10. Chikov, B. (1992). *Slip-strike structure stress-forming in the litosphere. Geology & Geophysics, 9, 3-39.*
11. Leonov, M. (2012). *Within-plate zones of concentrated deformation: tectonic structure & evolution. Geotectonics, 6, 3-28.*
12. Korchemagin, V., Emets, V. (1987). *Features of tectonic structure evolution & Donbass and Eastern Priazov stress-filds. Geotectonics, 3, 49-55.*
13. Korchemagin, V., Panov, B. (1970). *About features of brachianticlyne folds at Nikitovsk mineral filds. Reports of Academy of Sciences of USSR, 194 (3), 653-656.*
14. Gintov, O., Entin, V., Mychak, S. (2016). *Structure-petrophysical & tectonophysical base of central region of Golo-vanivsk suture zone of Ukrainian shield crystal basement geological map. Geophysical magazine, 3 (38), 3-24.*

15. Kopp, M. (1991). *Structural patterns of within-fold belts horizontal movements*. *Geotectonics*, 1, 21-36.
16. Kopp, M. (2017). *Arcuate extension structures in kinematic analysis of global & regional tectonic settings*. *Geotectonics*, 6, 18-36.
17. Koronovskiy, N., Gogonenkov, G., Goncharov, M., Timurziev, A., Frolova, N. (2009). *Role of shear along horizontal plane in the formation of helicoidal structures*. *Geotectonics*, 5, 50-64.
18. Anderson, E. (1951). *The dynamics of faulting*. Edinburg: Oliver and Boyd, 206.
19. Freund, R. (1974). *Kinematics of transform and transcurrent faults*. *Tectonophysics*, 21 (1/2), 93-134.
20. Tapponnier, P., Molnar, P. (1976). *Slip-line field theory and large-scale continental tectonics*. *Nature*, 264, 5584, 319-324.
21. Carter, L., Luenduk, B., Terres, R. (1987). *Neogene clockwise tectonic rotation of eastern Transverse Ranges, California*. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 92 (2), 199-206.
22. Sylvester, A.G. (1988). *Strike-slip faults*. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 100, 1666-1703.
23. Bartashchuk, O. (2017). *System organization of disjunctive tectonics of consolidated basement of Dniper-Donets paleorift. Part 2. Linear zones of horizontal-shear dislocation at rifting stage*. *Visnyk of V.N.Karazin Kharkiv University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 47, 7-17.
24. Tymurziev, A. (2009). *Newest shear tectonics of sedimentary basins: tectonophysical & fluidodynamical aspect. Abstract of thesis for Doctor of geol.-miner. Science. M.: Moscow State University*, 40.

УДК 622.279

Володимир Богданович Воловецький,

старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,
e-mail: vvb11@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8575-5143>;

Андрій Володимирович Гнітко,

старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів, e-mail: agnitko@ukr.net;

Оксана Миколаївна Щирба,

старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів, e-mail: omschyrba@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ СОЛЕВІДКЛАДЕННЯ У ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ СВЕРДЛОВИНАХ

У статті розглянуті ускладнення, що виникають у процесі експлуатації газових та газоконденсатних свердловин. Увагу приділено такому виду ускладнень, як солевідкладення. Відкладання солей відбувається переважно на внутрішній поверхні ліфтових труб і негативно впливає на видобувні можливості свердловин. Наслідком цього є зниження робочого тиску та дебіту газу і відповідно зростання затрубного тиску. Основним фактором утворення солевих відкладень є перенасичення водного розчину солями різного типу та вплив гідрогеологічних умов родовища. Наведено способи, які застосовують для запобігання відкладання солей та боротьби з цим видом ускладнення. Для забезпечення стабільної експлуатації свердловин в умовах солевідкладення авторами пропонується здійснювати: аналіз параметрів роботи свердловин, проведення періодичних аналізів води, індивідуальні виміри дебіту газу для визначення тенденції зниження видобування газу на початковій стадії відкладання солей, облаштування ліній для закачування рідини, а також розрахунок прогнозування відкладання солей за різними методиками. За результатами виконання цих заходів можливо встановити період стабільної роботи свердловин та початок виникнення ускладнень, що дозволить своєчасно застосовувати необхідні заходи.

Ключові слова: свердловина, газ, вуглеводневий конденсат, пластова вода, мінералізація води, солевідкладення, ліфтові труби.

В. Б. Воловецький, А. В. Гнітко, О. Н. Щирба. ОСОБЕННОСТИ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИНАХ. В статье рассмотрены осложнения, возникающие в процессе эксплуатации газовых и газоконденсатных скважин. Внимание уделено такому виду осложнения как солеотложение. Отложение солей происходит в основном на внутренней поверхности лифтовых труб и негативно влияет на добычные возможности скважин. Следствием этого является снижение рабочего давления, а также дебита газа и соответственно рост затрубного давления. Основным фактором образования солевых отложений является перенасыщение водного раствора солями разного типа и влияние гидрогеологических условий месторождения. Приведены способы, которые применяют для предотвращения отложения солей и борьбы с этим видом осложнения. Для обеспечения стабильной эксплуатации скважин в условиях солеотложения авторами предлагается осуществлять: анализ параметров работы скважин, проведение периодических анализов воды, индивидуальные измерения дебита газа для определения тенденции снижения добычи газа на начальной стадии отложения солей, обустройство линий для закачки жидкости, а также расчет прогнозирования отложения солей по разным методикам. По результатам выполнения этих мероприятий возможно определить период стабильной работы скважин и начало возникновения осложнений, что позволит своевременно применять необходимые мероприятия.

Ключевые слова: скважина, газ, углеводородный конденсат, пластовая вода, минерализация воды, солеотложения, лифтовые трубы.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Одним із ускладнень, що негативно впливає на експлуатацію газових та газоконденсатних свердловин, є солеві відкладення. Дані відкладення являють собою тверді непрохідні пробки, а також кіркоподібні нашарування і можуть відкладатися переважно на внутрішній поверхні ліфтових труб на різну довжину (до декількох десятків метрів) та товщину. Відкладення солей часто бувають дуже міцними та порушують стабільну експлуатацію свердловин, а також можуть призвести і до їх повної зупинки. Солевідкладення може відбуватися як у порах колектора привибійної зони, інтервалах перфорації, так і в експлуатаційних колонах, тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням солевих відкладів у свердловинах присвячена доволі чисельна наукова та науково-технічна література. Так, у роботах закордонних

дослідників [1, 2, 3] розглянуто причини формування солевих відкладень та шляхи боротьби із цим ускладненням.

В Україні цій проблемі також присвячено чимало досліджень, зокрема Р.М. Кондратом, О.Р. Кондратом, М.О. Псюком, М.П. Сміхом, Ю.О. Зарубіним, М.В. Гундою та іншими. Так, результати лабораторних досліджень з вивчення впливу різних хімічних реагентів (деемульгаторів, поверхнево-активних речовин (ПАР) та інгібіторів корозії) на ефективність застосування інгібіторів відкладення солей розкрито у роботі [4], а також щодо впливу метанолу та вуглеводневого конденсату на солезакисні властивості інгібітора у [5]. Проведені дослідження дають змогу отримати корисну інформацію для вибору необхідного інгібітору солевідкладення та його ефективного використання.

У [6] розглянуто проблеми солевідкладення у свердловинах Хрестищенської групи родовищ, до якої входять Хрестищенське, Соснівське, Ланнівське, Єфремівське, Кегичівське, Мелехівське, Східно-Медведівське, Медведівське газоконденсатні родовища. За результатами проведених розрахунків значна частина фонду Хрестищенського, Ланнівського, Кегичівського, Мелехівського, Медведівського родовищ знаходиться в умовах, сприятливих для виникнення відкладень солей хлориду натрію (NaCl галіт). На окремих родовищах спостерігається висока мінералізація супутньої води, збільшення вмісту пластової води в продукції. За даними розрахунків можлива поява дефіциту вологи в газі, тому необхідно проводити закачування води для насичення газу вологою.

У [7] розглянуто зміну термобаричних умов, які впливають на фазові переходи по шляху руху газу від контуру живлення до устя свердловини та відкладання солей хлориду натрію (NaCl). Для цього виділено чотири ділянки, а саме:

- область від контуру живлення до привибійної зони свердловини;
- привибійна зона і стінка свердловини;
- затрубний простір свердловини від верхнього інтервала перфорації до башмака насосно-компресорних труб (НКТ) і простір в експлуатаційній колоні від нижнього інтервала перфорації до башмака НКТ;
- трубний простір від башмака НКТ до устя свердловини.

За результатами проведених розрахунків найбільш ймовірним утворення солевих відкладень існує в привибійній зоні пласта, на вибої свердловини і в НКТ.

У роботі [8] розглянуто технологію комплексної обробки інгібітором та слабокислотним розчином для руйнування солевих відкладень гіпсу та карбонату кальцію. Технологія проведення робіт складається із закачування порційно розчинів у декілька етапів:

- закачування водного розчину ПАР у трубний та затрубний простір з технологічною витримкою між операціями;
- закачування в трубний простір першої та другої порції розчину складом: інгібітор солевідкладення, ПАР, вода технічна з технологічною витримкою між операціями;
- закачування в трубний простір водного розчину ПАР, а також порційно з технологічною витримкою між операціями кислотного розчину складом: ПАР, вода технічна, неорганічна кислота та інгібітор корозії;
- нагнітання у привибійну зону пласта при працюючій свердловині водного розчину ПАР.

При застосуванні даної технології на свердловинах родовищ ГПУ "Полтавагазвидобування" отримали збільшення видобутку:

- на свердловині 37 Копилівського ГКР дебіт до обробки складав 10 тис.м³/доб, а після – 14 тис.м³/доб;
- на свердловині 82 Чутівського НГКР дебіт до обробки складав 40 тис.м³/доб, а після – 50 тис.м³/доб;
- на свердловині 93 Чутівського НГКР дебіт до обробки складав 14 тис.м³/доб, а після – 25 тис.м³/доб.

Вченими здійснюється багато досліджень щодо створення комплексного інгібітору. Так, у [9] наведено характеристику комплексного інгібітору, розробленого Харківським політехнічним інститутом, до складу якого входять спінювач АО, карбамід та інгібітор гідратуутворення – хлористий кальцій.

У [10] розглянуто методику, використовуючи яку можна прогнозувати утворення солевих відкладів у газових свердловинах, інтервали найбільш ймовірного відкладення та період утворення.

Формулювання завдань досліджень та мета статті. Мета цієї роботи полягає в аналізі ускладнень, що виникають у процесі експлуатації газових та газоконденсатних свердловин пов'язаних із відкладенням солей та обґрунтуванні заходів щодо запобігання цьому процесу.

Виклад основного матеріалу досліджень. Солеві відкладення можуть мати у своєму складі карбонати кальцію, магнію, барію, стронцію, кальцієво-магнієві і залістисті карбонати, сульфати кальцію, магнію, барію і стронцію, двооксид кремнію, хлористий натрій і калій, гідрооксид магнію, оксиди і гідрооксиди заліза, органічні речовини та продукти корозії металоконструкцій та інші [11, 12, 13].

Вклад у вивчення, створення і вдосконалення методів боротьби з відкладенням солей внесли: Ю.В. Антипін, К.Б. Аширов, Г.А. Бабалян, В.І. Вещезеров, Ш.К. Гіматудінов, А.О. Глазков, В.Е. Кашавцев, В.К. Кім, М.С. Маринін, С.О. Михайлов, І.Т. Міщенко, П.М. Южанінов, L.C. Case, L.E. Davis, J.E. Oddo, A.G. Ostroff, H.A. Stiff, M.B. Tomson, O.J. Vetter та багато інших.

У роботі [14] детально розглянуто причини солевідкладення. Аналізуючи їх, видно, що основним джерелом відкладення солей є вода. Її хімічний склад постійно змінюється в міру виснаження запасів родовища та припливу високомінералізованої пластової води, що обумовлює інтенсивність утворення солевих відкладень. Окрім цього, є і інші причини.

Ефективність експлуатації свердловин в умовах сприятливих для відкладання солей зале-

жить від застосування заходів пов'язаних з прогнозуванням утворення цих ускладнень та від правильної організації робіт із їх ліквідації. Існують різні методики для прогнозування відкладання солей. Використовуючи їх можна прогнозувати утворення солевих відкладів у газових та газоконденсатних свердловинах.

Для прогнозування відкладення карбонатних солей використовуються методики Г.П. Волобуєва і Л.Є. Сокирко, А.Ю. Наміота, Дж. Оддо і М.Б. Томсона та інші, а для сульфатних солей: В.П. Зверева, А.А. Ємкова, Р.Я. Кучумова, Р.Ф. Хайрулліна, Ю.В. Антипіна, М.Д. Валєєва, Дж. Оддо і М.Б. Томсона, В.Е. Кашавцева та інші [15].

Необхідно відмітити, що на родовищах ПАТ "Укргазвидобування", зокрема на Шебелинському ГКР, Мелехівському ГКР, Кегичівському ГКР, Медведівському ГКР, Східно-Медведівському ГКР, Єфремівському ГКР, Хрестищенському ГКР, Кобзівському ГКР, Соснівському ГКР, Ланівському ГКР, Червоноярському ГКР, Островерхівському ГКР, Копилівському ГКР, Східно-Полтавському ГКР, Машівському ГКР, Чутівському ГКР, Битків-Бабченському НГКР, при експлуатації свердловин спостерігаються ускладнення пов'язані з відкладанням різних типів солей, що негативно впливає на видобування вуглеводнів.

Необхідно відмітити, що процес відкладання солей має свої особливості. В одному випадку солевідкладення спостерігається у свердловинах родовищ на всіх періодах їх розробки, а в іншому випадку у свердловинах на завершальній стадії розробки родовищ. Це пов'язано із зміною гідрогеологічних умов родовища (зниженням пластового тиску, температури, умов фільтрації, хімічного складу води тощо).

У світовій практиці використовують багато різних способів усунення солевідкладення. За технологією застосування їх можна поділити на дві групи. До першої слід віднести способи запобігання солевідкладення до початку їх утворення, а до другої безпосередньо при їх відкладенні. Отже, розглянемо нижче способи запобігання та боротьби з солевідкладеннями, що використовуються [16].

Для запобігання солевідкладення використовують такі способи:

- постійне подавання інгібітора по існуючих інгібіторопроводах у затрубний простір свердловин з установки підготовки газу за допомогою насосів;

- постійне подавання інгібітора в затрубний простір свердловини або шлейф за допомогою стандартної дозуючої установки, яка розміщена на усті;

- періодичне подавання інгібітора в затрубний простір свердловини за допомогою пересувного насосного агрегата;

- періодичне закачування інгібітора по НКТ і протискування у привибійну зону пласта, де він адсорбується і утримується на поверхні породи. У процесі фільтрації рідини через ПЗП відбувається поступовий процес десорбції, інгібітор вивільняється і з пластової рідиною надходить у свердловину, забезпечуючи попередження відкладення солей;

- періодичне закачування прісної та гарячої води (попередньо очищеної та допустимої по хімічному складу за результатами аналізу на вміст солей, щоб виключити додаткові фактори, які сприятимуть процесу солевідкладення);

- захисні покриття НКТ (скло, емалі, різні лаки, епоксидна смола); покриття наноситься методом напилення або електроосадження, виготовляють із спеціального матеріалу. Слід зазначити, що покриття НКТ не попереджає повністю відкладення солей, але знижує інтенсивність росту їх утворення, тому рекомендується використовувати на свердловинах з помірною інтенсивністю солевідкладення;

- періодичне подавання по НКТ на вибій свердловини інгібіторів солевідкладення у твердому вигляді (гранули, капсули). Наприклад, інгібітор солевідкладення CAPTRON 75 W у вигляді капсул;

- промивка внутрішньої поверхні колони НКТ із використанням колтюбінгової установки та азотної компресорної установки. Цю технологію застосовували на свердловинах Східно-Полтавського ГКР та інших родовищах ГПУ «Полтавагазвидобування», яка дозволяє виконувати промивку внутрішньої поверхні ліфтової колони труб від солевих відкладів без демонтажу фонтанної арматури та глушіння свердловини шляхом спуску безмуфтових довгомірних труб (БДТ) у НКТ та подачі аерованої рідини (розчин ПАР 1–3 % із азотом) зі створенням прямої циркуляції.

Необхідно відмітити, що окрім наведених способів використовують і інші.

Для боротьби з солевідкладенням використовують такі способи:

- розбурювання;
- фрезерування;
- застосування ударного інструменту зворотно-поступальної дії;

- застосування вибійних гідравлічних струминевих систем;

- обробка скребками з подальшим шаблонуванням;

- застосування впливу магнітного поля;
- імпульсної акустичної обробки;

- проведення КРС із заміною ліфтових труб;
- закачування у трубний та затрубний простір свердловини малоконцентрованого розчину кислот оцтової, соляної від 1 до 15 % та інших хім.реагентів [17];

- протискування у привибійну зону пласта розчину кислот.

Слід зазначити, що на практиці використовують і інші способи, а також технології, які постійно вдосконалюються.

Доцільним є застосування комбінації різних способів, тобто використання періодично, наприклад один раз у тиждень інгібітора солевідкладення для карбонату кальцію і відповідно, один раз у місяць розчина оцтової кислоти. Необхідно зазначити, що використання розчинів кислот може сприяти процесу корозії свердловинного обладнання. Тому при їх використанні доцільно застосовувати інгібіторний захист, наприклад періодичне закачування розчину інгібітора корозії [18].

Проведено багато досліджень щодо застосування різної концентрації інгібітора солевідкладення. Слід відмітити, що за результатами лабораторних досліджень у залежності від насичення пластової води складом солей, ефективність використання інгібування солевідкладення одними і тими ж реагентами може суттєво відрізнятись. Тому при застосуванні інгібіторів солевідкладення використовують різне дозування.

Багато з наведених способів для боротьби з солевідкладенням є високовартісними, застосування їх призводить до простою свердловин і відповідно зменшення видобутку, тому доцільно використовувати профілактичні заходи, які є менш дорогими та простими у використанні.

На практиці на промислах ПАТ "Укргазвидобування" для забезпечення стабільної роботи газових та газоконденсатних свердловин і попередження відкладень солей застосовують профілактичні заходи, тобто здійснюють закачування рідини на усті такими способами:

- закачують у затрубний простір свердловини прісну воду при її роботі на установку підготовки газу.

- закачують у трубний простір свердловини прісну воду та здійснюють її пуск у роботу затрубним простором на установку підготовки газу.

- закачують у затрубний простір свердловини прісну воду з подальшим продуванням трубного простору на амбар.

- закачують у затрубний простір свердловини розчину ПАР низької концентрації (до 0,1-0,5 %) при її роботі на установку підготовки газу. Це дозволяє зменшити імовірність з'єднання солей і глинистого матеріалу та утворення міцної пробки.

- закачують у затрубний простір свердловини гарячу воду з подальшим продуванням трубного простору на амбар.

- закачують у трубний або затрубний простір свердловини розчин інгібітора солевідкладення та в подальшому пускають в роботу на установку підготовки газу.

- закачують у трубний та затрубний простір свердловини розчин інгібітора солевідкладення із зупинкою її та подальшим пуском в роботу.

На сьогоднішній день на багатьох родовищах ГПУ "Шебелинкагазвидобування" для попередження солевідкладення галіту часто використовують закачування прісної води. Даний спосіб використовують для покриття дефіциту вологи у газі, а не для розчинення солевих відкладень. Для виконання даного заходу використовують автоцистерну для доставлення безпосередньо на устя прісної води та цементувальний агрегат, наприклад (ЦА-320) за допомогою якого здійснюється закачування [19].

Необхідно відміти, що в залежності від робочих параметрів свердловини об'єм закачуваної води визначають індивідуально на підставі промислових досліджень. З практичного досвіду відомо, що для проведення одного закачування використовують переважно від 0,2 – 1,0 м³ води, а в окремих випадках і більше, при цьому закачують певний об'єм порційно з інтервалом у часі.

За результатами аналізу промислових досліджень для вибору оптимального режиму експлуатації свердловин визначають спосіб закачування води та її об'єм. Крім цього, контролюють зміну параметрів експлуатації свердловини, трубний та затрубний тиск, що може бути наслідком початку відкладення солей.

З практичного досвіду відомо, що при експлуатації свердловин по колонах ліфтових труб спостерігається відкладання солей на внутрішній поверхні НКТ та відбувається зниження трубного тиску і відповідно зростання затрубного тиску, внаслідок чого може відбутися зниження дебіту свердловини. Ефективним аргументом підтвердження початку виникнення ускладнень буде проведення індивідуального заміру дебіту по газу, який буде відрізнятись від існуючого технологічного режиму по обсягу видобутку. Крім цього, проводять шаблонування НКТ, що дозволяє встановити глибину початку відкладень солей. На підставі цього складають графік проведення закачування рідини у свердловини. У процесі експлуатації свердловин в даний графік вносять певні корективи. Описані заходи виконуються на промислах безпосередньо майстрами з добування нафти, газу та конденсату.

Для свердловин родовищ ПАТ "Укргазвидобування" працівниками УкрНДІгазу виконують-

ся науково-дослідні роботи з такої проблеми, як солевідкладення. Проводять аналіз експлуатації свердловин. Відбирають проби води із свердловин для проведення лабораторних досліджень на вміст солей (молярні концентрації іонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- в мг/л, густину в кг/м^3 , рН). За результатами досліджень, перевищенням одного із неорганічних сполук, наприклад кальциту (CaCO_3), гіпса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) встановлюють тип солей. Використовуючи різні методики проводять розрахунки щодо прогнозування солевідкладення. Надають рекомендації щодо експлуатації свердловин в умовах солевідкладення.

Під час виконання науково-дослідної роботи за результатами промислових досліджень та розрахунків фахівцями УкрНДІгазу запропоновано виконати наступну класифікацію свердловин в яких відбувається зниження видобувних можливостей у межах родовища по групах:

- група 1 – свердловини, у яких спостерігаються солевідкладення протягом 7 днів;
- група 2 – свердловини, у яких спостерігаються солевідкладення протягом 10-14 днів;
- група 3 – свердловини, у яких спостерігаються солевідкладення протягом 30 днів.

Крім цього, запропоновано виконати розподіл свердловин за ступенем загальної мінералізації пластової води на категорії:

- а) до 100 г/л;
- б) від 100-200 г/л;
- в) понад 200 г/л.

Контролювати процес солевідкладення запропоновано за результатами аналізу води, яку відбирають із свердловин. Для кожної свердловини встановлено граничні значення мінералізації. Таким чином, при зростанні мінералізації вище граничного значення працівники промислу своєчасно застосовують певні види робіт. Такий підхід на практиці дозволив отримати позитивні результати завдяки вчасному проведенню профілактичних заходів.

Отже, на підставі аналізу експлуатації свердловин різних родовищ, розрахованих прогнозних результатів щодо солевідкладення у свердловинах за існуючими методиками та порівняння їх з фактичними даними з промислів, фахівцями інституту розроблено ефективні комплексні різнопланові заходи, а саме:

- здійснювати контроль за параметрами експлуатації свердловин, зокрема за тиском трубного та затрубного простору ($P_{\text{тр}}$, $P_{\text{затр}}$) із записом у журнал, щоб спостерігати за динамікою зміни тисків по днях. Для забезпечення постійного моніторингу необхідно впроваджувати новітні технології, встановлювати датчики тиску та температури на усті та на входному газопроводі уста-

новки підготовки газу. Завдяки цьому можна в реальному часі слідкувати за параметрами експлуатації свердловин;

- на свердловинах встановити пробовідбірники, що дозволить проводити відбір води для аналізу;

- один раз на тиждень по кожній свердловині, у якій відкладаються солі, відбирати воду для проведення аналізу на фізико-хімічні показники (хімічний склад, мінералізацію) та фіксувати результати у журнал;

- протягом тижня на свердловинах, в яких відбувається зміна параметрів експлуатації (зниження входного тиску), проводити контрольний замір їх видобувних можливостей на замірній лінії установки підготовки газу, щоб встановити фактичне зниження дебіту із записом у журнал;

- на всіх родовищах свердловини розділити на три групи (1, 2, 3) у залежності від інтенсивності відкладання солей, а також на категорії а, б, в;

- виконувати розрахунки за існуючими методиками та порівнювати їх результати із фактичними даними виникнення солевідкладень під час експлуатації свердловин;

- на свердловинах, в об'язці яких на фонтанній арматурі є буферна засувка, додатково встановити фланець з гайкою швидкого з'єднання та заглушку для герметизації. Це дозволить підключати насосний агрегат та здійснювати закачування рідини (води, розчину ПАР, інгібітора) через буферну засувку;

- на свердловинах, не обладнаних буферними засувками, облаштувати лінію для закачування рідини в свердловину;

- один раз на місяць (квартал) проводити шаблонування НКТ для встановлення глибини відкладання солей та записувати у журнал;

- здійснювати закачування рідини у свердловини оптимальними способами на основі промислових досліджень та згідно певної періодичності із записом у журнал;

- перед закачування у свердловину необхідного інгібітора солевідкладення провести його дослідження на зниження властивостей при контактуванні з вуглеводневим конденсатом, пластовою водою, метанолом тощо;

- провести дослідження з вибору оптимального складу розчину хімічних реагентів, інгібітора солевідкладення для закачування у свердловину;

- здійснювати закачування малоконцентрованого розчину кислот при попередньому дослідженні на процес корозії свердловинного обладнання, зниження ефективності при контактуванні з вуглеводневим конденсатом, пластовою водою, метанолом із записом у журнал.

Для виконання запропонованих заходів доцільно розробити графіки, що дозволять персоналу промислу своєчасно їх виконувати, а також забезпечувати контроль за експлуатацією свердловини, зокрема:

- графік відбору води по свердловинах;
- графік заміру видобувних можливостей;
- графік закачування рідини (води, розчину ПАР, інгібітора) у свердловини;
- графік шаблонування НКТ у свердловинах;
- графік закачування розчину кислот у свердловини.

У розроблених графіках необхідно вказати свердловину, родовище та дату виконання запланованого заходу.

Для проведення аналізу експлуатації свердловин в умовах солевідкладення доцільно створити електронний журнал, наприклад у файлі MS Excel. В цей журнал слід внести дані по свердловинах із розроблених графіків та фактичні результати із журналів. На основі фактичних даних можна слідкувати за динамікою зміни параметрів експлуатації та різних факторів. Це дозволить своєчасно прийняти відповідні заходи.

Таким чином, виконання вище наведеного дозволить мати достовірну інформацію щодо процесу солевідкладення у газоконденсатних свердловинах.

Для ефективного застосування будь-яких заходів, спрямованих на стабілізацію або підвищення видобутку вуглеводнів, необхідно володіти реальним станом свердловин. Так, для ефективного моніторингу за станом свердловин родовищ ГПУ "Шебелинкагазвидобування" фахівцями УкрНДІгазу створено програмний продукт для автоматичного формування інформації індивідуально по кожній свердловині "VDS 1.0" (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №38513 від 27.05.2011 р). Крім цього, розроблено програмний комплекс "PSPSKV 1.0" (паспорт свердловини, свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 38522 від 27.05.2011 р). Паспорт свердловини містить спеціально розроблену форму вибірки даних геолого-технічних та експлуатаційних

параметрів свердловини з технологічного режиму і даних з рапорту по видобутку вуглеводнів. Програми створено для роботи в MS Excel.

Використання "VDS 1.0" та "PSPSKV 1.0" дозволяє отримувати актуальну інформацію щодо існуючого стану свердловини. Завдяки цьому швидко та зручно аналізувати експлуатацію свердловин за місяць та за попередні роки [20, 21]. Необхідно зазначити, що в теперішній час фахівцями УкрНДІгазу розробляється автоматизована методика з прогнозування процесу солевідкладення у свердловинах.

Висновки.

1. Для забезпечення видобування вуглеводнів із газових та газоконденсатних свердловин в умовах солевідкладення необхідно провести дослідження щодо встановлення типу солей. Визначити періодичність їх відкладення шляхом проведення досліджень свердловин, індивідуальних вимірів дебіту газу для встановлення тенденції зниження видобутку газу на початковій стадії солевідкладення. Крім цього, доцільно використовувати різні методики для прогнозування відкладення солей, що дозволить своєчасно застосувати профілактичні заходи з попередження солевідкладення.

2. Для підвищення ефективності експлуатації свердловин в умовах солевідкладення запропоновано використовувати комплексні заходи, основними з яких є встановлення на усті свердловин пробовідбірників для відбору води на аналіз, на фонтанній арматурі облаштувати лінію для підключення насосного агрегату та закачування рідини і вибрати оптимальний спосіб для проведення цього заходу. Для контролю за виконанням заходів рекомендується розробити графіки.

3. У подальшому необхідно розглянути можливість використання рецептури розчинів хімічних реагентів, інгібіторів солевідкладення, які можна застосовувати для запобігання, як солевідкладення і корозії, так і гідратуотворення, що забезпечить підвищення ефективності роботи свердловин в ускладнених умовах експлуатації.

Література

1. Борьба с солеотложениями – удаление и предотвращение их образования [Текст] / М. Крабтри, Д. Эслингер, Ф. Флетчер и др. // Нефтегазовое обозрение. – 2002, Осень – С. 52-73.
2. Пути повышения эффективности предотвращения образования отложений неорганических солей в скважинах [Текст] / А. Ш. Сиртланов, Р. А. Фасхутдинов, Ф. Д. Шайдуллин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2002. – №4. – С. 59-61.
3. Опыт и перспективы ингибирования солеотложений на месторождениях ОАО Юганскнефтегаз / А. И. Семеновых, Д. В. Маркелов, В. В. Рагулин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №8. – С. 94-97.
4. Кондрат, Р. М. Дослідження взаємного впливу інгібіторів корозії та інгібіторів відкладення солей на їх захисні властивості [Текст] / Р. М Кондрат, М. О. Псюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. - 2013. – Вип. 3 (48). – С. 94–101.

5. Кондрат, Р. М. Промислові дослідження інгібіторного методу боротьби з відкладенням солей під час експлуатації обводнених газових і газоконденсатних свердловин [Текст] / Р. М. Кондрат, О. Р. Кондрат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. - 2012. – Вип. 3 (44). – С. 14–21.
6. Аналіз процесів солевідкладення в свердловинах Хрестищенської групи родовищ [Текст] / А.В. Гнітко, С. М. Корнєєв, Л. В. Воловик, В. В. Соболев // Питання розвитку газової промисловості України. – Харків : УкрНДІгаз, 2005. – Вип. XXXIII. – С. 3–6.
7. Гнітко, А. В. Влияние термобарических условий на направление фазовых переходов в газожидкостном потоке и отложение солей [Текст] / А. В. Гнітко // Питання розвитку газової промисловості України. – Харків : УкрНДІгаз, 2005. – Вип. XXXIII. – С. 6–10.
8. Поеднання інгібітора солевідкладень з кислотними композиціями як оптимальне рішення для підвищення видобутку вуглеводнів на свердловинах ГПУ "Полтавагазвидобування" [Текст] / Ю. І. Мазепа, М. В. Зеленський, О. О. Яценко та ін. // Питання розвитку газової промисловості України. – Харків : УкрНДІгаз, 2015. – Вип. XLIII. – С. 95-98.
9. Технологическая инструкция на приготовление и применение комплексного ингибитора. – Харьков : ХПИ им. В.И. Ленина, 1988. – 125 с.
10. Сміх, П. М. Моделювання та прогнозування фазових переходів у неорганічних системах у стовбурі газових свердловин [Текст] / П. М. Сміх, Ю. О. Зарубін, М. В. Гунда // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. - 2007. – Вип. 3 (24). – С. 62–67.
11. Бойко, В. С. Довідник з нафтогазової справи [Текст] / В. С. Бойко, Р. М. Кондрат, Р. С. Яремійчук; Івано-Франків. нац. техн.ун-т нафти і газу. – Львів. 1996. – 620 с. – ISBN 5-335-01293-5.
12. Ивановский, В. Н. Прогнозирование как способ борьбы с отложением солей в скважинах, оборудованных электроцентробежными насосами [Текст] / В. Н. Ивановский, А. А. Сабиров, Ю. А. Донской // Нефтяное хозяйство. – 2009. – №6. – С. 21-24.
13. Сильнов, Д. В. К вопросу о солеобразовании в процессе добычи нефти на севере Западной Сибири [Текст] / Д. В. Сильнов, А. В. Сиднев // Успехи современного естествознания. – 2011. – №3. – С. 46-47.
14. Кондрат, Р. М. Аналіз причин солевідкладення і методів боротьби з ними під час експлуатації газових і газоконденсатних свердловин [Текст] / Р. М. Кондрат, О. Р. Кондрат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. - 2008. – Вип. 2 (27). – С. 39–42.
15. Ивановский, В. Н. Анализ существующих методик прогнозирования солеотложения на рабочих органах УЭЦН [Текст] / В. Н. Ивановский // Производственно-технический нефтегазовый журнал "Инженерная практика". – 2009. – Пилотный выпуск, декабрь. – С. 8-11.
16. Аналіз ускладнень при експлуатації газових і газоконденсатних свердловин та шляхи боротьби з ними [Текст] / В. Б. Воловецький, О. Ю. Витязь, В. І. Коцаба та ін. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2015. – Вип. 2 (39). – С. 78-88.
17. Кацавцев, В. Е. Солеобразование при добыче нефти [Текст] / В. Е. Кацавцев, И. Т. Мищенко. М. : 2004. – 432 с.
18. Підвищення ефективності експлуатації газоконденсатних свердловин в ускладнених умовах [Текст] / В. Б. Воловецький, В. І. Коцаба, А. В. Дьомін та ін. // Питання розвитку газової промисловості України. – Харків : УкрНДІгаз, 2015. – Вип. XLIII. – С. 106-114.
19. Боротьба із сольовими відкладеннями на родовищах ГПУ «Шебелинкагазвидобування» [Текст] / А. В. Гнітко, В. І. Жмурков, Д. М. Козуч, О. В. Корсун // Нафтогазова галузь України. – Київ. – 2016. – Вип. 4 (22). – С. 28–30.
20. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №38513 від 27.05.2011 р. / А.В. Гнітко, В.І. Коцаба, С.В. Кривуля, та ін. / Комп'ютерний комплекс "VDS 1.0".
21. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №38522 від 27.05.2011 р. / А. В. Гнітко, В. І. Коцаба, С. В. Кривуля та ін. / Комп'ютерна програма "PSPSKV 1.0".

UDC 622.279

Volodymyr Volovetskyi,

Senior Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases,
Gimnaziyna naberejna, 20, Kharkiv, 61010, Ukraine,

e-mail: vvb11@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8575-5143>;

Andrii Hnitko,

Senior Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases,
e-mail: agnitko@ukr.net;

Oksana Shchyrbra,

Senior Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases,
e-mail: omschyrbra@ukr.net

CHARACTERISTICS OF SCALE DEPOSITION IN GAS-CONDENSATE WELLS

Formulation of the problem. The article deals with one of many possible complications that may occur in the process of gas and gas-condensate wells operation. In fact, scale deposits can be observed in wells at all stages of field development. Scale deposition inside the tubing has a negative impact on hydrocarbons production. This causes the decline of gas production rate. The major factor of scale deposits formation is overtreatment of water solution with different salts and the effect of field hydrogeology. Thus, special methods are used in practice to prevent scale deposition and combat this complication.

The purpose of the article. To define the causes of scale deposition, the detailed analysis of well operation should be performed that will help to take the appropriate prevention measures.

Methods. The authors' own achievements as well as the research results of domestic and foreign investigators made the methodical basis for the article.

Results. The production data of the wells from different fields have provided the information about scale deposition. Many of the described ways of combating and eliminating scale deposits are expensive, their use causes well downtime and production decline. Therefore, it has been proposed to take easy-to-use preventive measures.

Scientific novelty and practical significance. During investigation of the production researches results and calculations the specialists of UkrNDIgas proposed to classify the wells with reduced production capacities within the field into groups and categories according to the degree of total salinity of formation water.

It has been proposed to control the process of scale deposition by the results of water analysis, taken from the wells. Each well has the set limit values of salinity.

Based on the operation analysis of wells in different fields, the calculated predicted results of scale deposition in wells according to the existing procedures and their comparison with the factual data from production fields, the specialists of the institute have developed the efficient complex multi-faceted measures.

Keywords: well, gas, hydrocarbon condensate, formation water, water salinity, scale deposition, tubing.

References

1. Krabtri, M., Eslinger, D., Fletcher, F., Miller, M., Dschonson, E., King, D. (2002). *Fighting scaling - Removal and Prevention Education. Oilfield Review. Issue Autumn*, 52-73.
2. Sirtlanov, A., Faschutdinov, R. A., Schajdullin, F. D. et al. (2002). *Ways to improve the efficiency of preventing the formation of inorganic salt deposits in wells. Oil Industry*, 4, 59-61.
3. Semenovich A.I., Markelov D.V., Ragulin V.V. et al. (2005). *Experience and prospects of scaling inhibition in the fields of Yuganskneftegaz. Oil Industr*, 8, 94-97.
4. Kondrat, R. M., Psiuk, M. O. (2013). *Study of the mutual influence of corrosion inhibitors and inhibitors of salt deposits on their protective properties. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG*, 3 (48), 94-101.
5. Kondrat, R. M., Kondrat, O. R. (2012). *Field research of the inhibitory method of reducing salts deposition during the operation of flooded gas and gas condensate wells. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG*, 3 (44), 14-21.
6. Hnitko, A. V., Korniyev, S. M., Volovyk, L. V., Sobol, V. V. (2005). *Analysis of salt deposition processes in wells of Khrestyshchensk group of fields. Issues of gas industry development in Ukraine: col. of scientific works. Kharkiv: UkrNDIga.*, XXXIII, 3-6.
7. Hnitko, A. V. (2005). *Influence of temperature and pressure conditions on the direction of phase transitions in the gas-liquid flow and accumulation of salts. Issues of gas industry development in Ukraine: col. of scientific works. Kharkiv: UkrNDIgas.* XXXIII, 6-10.

8. Mazepa, Yu. I., Zelenskyi, M. V., Yashchenko, O. O., Zelenskyi, V. Yu., Otrishko, V. L., Myroshnichenko, D. T. (2015). *Combining the inhibitor of salts deposition with acidic compositions as an optimal solution to increase hydrocarbon production at the wells of Poltavagasvydobuvannya GPD. Issues of gas industry development in Ukraine: col. of scientific works. Kharkiv: UkrNDIgas, XLIII, 95-98.*
9. *Operating procedure for the preparation and use of compound inhibitor. (1988). Kharkov: Kharkiv V.I. Lenin Polytechnic Institute, 125.*
10. Smikh, P. M., Zarubin, Yu. O., Hunda, M. V. (2007). *Modeling and prediction of phase transitions in inorganic systems in gas wellbores Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 3(24), 62-67.*
11. Boiko, V. S., Kondrat, R. M., Yaremiichuk, R. S. (1996). *Petroleum engineering handbook. IFNTUOG. Lviv, 620. ISBN 5-335-01293-5.*
12. Ivanovskii, V. N., Sabirov, A. A., Donskoi, Yu. A. (2009). *Forecasting as a way reduce salt deposits in wells, equipped with electric centrifugal pumps. M.: Oil Industry, 6, 21-24.*
13. Silnov, D. V., Sidniev, A. V. (2011). *Towards salt formation in the process of oil production in the north of Western Siberia. M.: Advances in current natural sciences, 3, 46-47.*
14. Kondrat, R. M., Kondrat, O. R. (2008). *Analysis of salt deposition causes and methods of their control during operation of gas and gas condensate wells. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2 (27), 39-42.*
15. Ivanovskii, V. N. (2009). *Analysis of the existing prediction methods of salt deposition on ESP components. Technical Oil & Gas Journal «Engineering practice». M.: December, Pilot issue, 8-11.*
16. Volovetskyi, V. B., Vytiaz, O. Yu., Kotsaba, V. I., Shchyrba, O. M., Vytvytska, O. M. (2015). *Analysis of complications during operation of gas and gas condensate wells and ways to combat them. Scientific Herald of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2 (39), 78-88.*
17. Kashchavtsev, V. E., Mishchenko, I. T. (2004). *Salt formation in oil production. M., 432.*
18. Volovetskyi, V. B., Kotsaba, V. I., Diomin, A. V., Hnitko, A. V., Vasylenko, S. V., Shchyrba, O. M. (2015). *Improving the operating efficiency of gas condensate wells in abnormal operating conditions. Issues of gas industry development in Ukraine: col. of scientific works Kharkiv: UkrNDIgas, XLIII, 106-114.*
19. Hnitko, A. V., Zhmurkov, V. I., Kohuch, D. M., Korsun, O. V. (2016). *Combating scale deposition in the fields of ShebelynkaGasVydobuvannya Gas Production Division. Oil and gas industry of Ukraine. Kyiv, 4 (22), 28-30.*
20. Hnitko, A.V., Kotsaba, V.I., Kryvulia, S.V., Diomin, A.V., Volovyk, L.V., Fesenko, Yu.L., Kutinov, S.O., Kohuch, D.M., Zhmurkov V.I., Svitlytskyi V.M. *Registration certificate of copyright for the piece of work №38513 of 27.05.2011. Computer complex "VDS 1.0".*
21. Hnitko, A.V., Kotsaba, V.I., Kryvulia, S.V., Diomin, A.V., Volovyk, L.V., Fesenko, Yu.L., Kutinov, S.O., Kohuch, D.M., Zhmurkov, V.I., Svitlytskyi, V.M. *Registration certificate of copyright for the piece of work №38522 of 27.05.2011. Computer program "PSPSKV 1.0".*

УДК 519.876.2

Геннадій Іванович Гайко,

д. т. н., професор, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна,
e-mail: gayko.kpi@meta.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7471-3431>;

Іван Олександрович Матвійчук,

аспірант, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
e-mail: matveychuk593@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-3262-8762>;

Володимир Стефанович Білецький,

д. т. н., професор НТУ «Харківський політехнічний інститут»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна,
e-mail: biletsk@i.ua, <http://orcid.org/0000-0003-2936-9680>;

Пьотр Салуґа,

д. т. н., професор кафедри управління в енергетиці,
Краківська гірничо-металургійна академія ім. С. Сташці,
ал. А. Міцкевича, 30, м. Краків, 30-059, Польща,
e-mail: psaluga@zarz.agh.edu.pl, Scopus (author ID): 6506800622

МЕТОДИ ПРОГНОЗНОЇ ОЦІНКИ СПРИЯТЛИВОСТІ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА БУДІВНИЦТВУ ОБ'ЄКТІВ ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ

Стисло окреслено перспективи освоєння підземного простору мегалісів. Проаналізовано природничо-технічну систему «геоурбаністика – геологічне середовище». Представлено методіку типізації геологічного середовища і градацію його сприятливості освоєнню підземного простору. Наведено результати типізації та для ділянки в Шевченківському районі Києва. Візуалізовано тематичні карти для окремих факторів впливу. Розкрито особливості методу морфологічного аналізу для оцінки ризиків розвитку підземної урбаністики, показані його можливості для прогнозу оцінки сприятливості ділянок для геобудівництва. Представлена морфологічна таблиця загальної характеристики та ризиків освоєння підземного простору. Надано аналіз визначених груп факторів. Означено методичні аспекти застосування методу Монте-Карло в геомеханіці. Доведена можливість доповнення поширеного в проектуванні інженерних об'єктів методу скінчених елементів та різних програмних комплексів його реалізації програмним інструментарієм методу Монте-Карло, зокрема в оцінці змінності властивостей геологічного середовища.

Ключові слова: геологічне середовище, геоурбаністика, підземний простір, системний підхід, прогнозна оцінка, метод типізації, морфологічний аналіз, морфологічні таблиці, геомеханічні ризики, метод Монте-Карло.

Г. І. Гайко, І. А. Матвійчук, В. С. Білецький, П. Салуґа. МЕТОДЫ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ БЛАГОПРИЯТСТВОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ СТРОИТЕЛЬСТВУ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНОЙ УРБАНИСТИКИ. Кратко наметены перспективы освоения подземного пространства мегалісов. Проанализирована природно-техническая система «геоурбаністика - геологическая среда». Представлена методика типізації геологической среды и градація ее благоприятности освоению подземного пространства. Приведены результаты типізації геологической среды для участка в Шевченковском районе Киева. Визуализированы тематические карты для отдельных факторов влияния. Раскрыты особенности метода морфологического анализа для оценки рисков развития подземной урбаністики, показаны его возможности для прогнозной оценки благоприятности участков для геостроительства. Представлена морфологическая таблица общей характеристики и рисков освоения подземного пространства. Дан анализ выделенных групп факторов. Отмечены методические аспекты применения метода Монте-Карло в геомеханике. Показана возможность дополнения распространенного в проектировании инженерных объектов метода конечных элементов и различных программных комплексов его реализации программным инструментарием метода Монте-Карло, в частности в оценке изменчивости свойств геологической среды.

Ключевые слова: геологическая среда, геоурбаністика, подземное пространство, системный подход, прогнозная оценка, метод типізації, морфологический анализ, морфологические таблицы, геомеханические риски, метод Монте-Карло.

Постановка проблеми. Зростання великих міст є проявом сталих історичних закономірностей і веде не тільки до збільшення їх розмірів, але й до суттєвого ускладнення функціонально-просторової організації. Вирішення низки гострих проблем, пов'язаних з інтенсивним зростанням мегалісів в останні десятиріччя, може бути розв'язане шляхом будівельного освоєння міського підземного простору. Інструментами управління розвитку міст слугують генеральні плани, плани капітального будівництва, комплексні схеми транспорту, програми соціально-економічного розвитку, а також майстер-плани розвитку підзе-

мної урбаністики, які характеризуються стратегічним баченням довгострокової перспективи освоєння георесурсів міста. Проте, велика складність, різноманітність, нестабільність, часом невизначений (або випадковий) характер взаємодій між геологічним середовищем, у якому розміщуються наземні та підземні будівельні об'єкти, техногенними впливами та структурно-функціональними факторами життєдіяльності міста суттєво ускладнюють існуючі плани, потребують їх вдосконалення із застосуванням системного підходу. Останній може стати базовою науковою методологією для вирішення територі-

альних, транспортних, енергетичних, екологічних та інших міських проблем при мінімальних техніко-економічних ризиках та раціональному використанні георесурсів. Масштабне підземне будівництво, заплановане в середньостроковій перспективі в Києві, Харкові, Дніпрі, Одесі, Львові потребує прогностичної оцінки геологічного середовища територій цих міст для прийняття рішень щодо можливості та економічної доцільності будівництва підземних комплексів. Тому обґрунтування й аналіз можливостей наукових методів оцінки сприятливості геологічного середовища розвитку підземної урбаністики бачиться вельми актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Найбільш доцільною для планування сучасних мегаполісів авторам бачиться комплексна природничо-технічна система «геоурбаністика – геологічне середовище», яка охоплює всю складність і різноманітність взаємин технічних і природних чинників розвитку геоурбаністики мегаполісу [1–4]. Важливою складовою виділеної системи виступає геологічне середовище, яке є багатокомпонентною, дискретною, динамічною природною системою, різноманітно та енергійно взаємодіючою зі спорудами. Вона складається з системи геологічних тіл різних рівнів, різного складу, тектонічної порушеності, обводненості, які поділяються на формації, субформації, стратиграфолітологічні комплекси, петрографічні типи (пачки, товщі) та моноприродні системи. У загальному визначенні, геологічне середовище охоплює частину простору, зайнятого геологічними тілами, які зверху обмежуються денною поверхнею, а знизу – поверхнею, що відділяє породи змінні за будь-яким параметром складу, фізико-механічних, хімічних та інших властивостей в результаті прямих і опосередкованих впливів діяльності людини від таких, що не зазнали цих змін [5–7].

Характерною рисою геологічного середовища мегаполісу є те, що у цьому просторі природні геологічні утворення частково замінені наземними та підземними спорудами й антропогенними накопиченнями. Інженерно-геологічні процеси, які тут перебігають, підпорядковуються як природним так і техногенним чинникам. Геологічне середовище урбанізованої території зростає шляхом заглиблення інженерних споруд і утворення підземних комплексів, що характеризується переміщенням ґрунтових мас та створенням нових геологічних умов. Активне використання підземного простору впливає на гірські породи (ґрунти), які слугують їхньою основою. У результаті формується область взаємодії наземних і підземних споруд та гірських порід (ґрунтів), у

межах якої відбуваються зміни стану й властивостей порід та гідрогеологічних умов [8].

Для оцінки сприятливості геологічного середовища урбанізованих територій до будівництва комплексів підземних споруд доцільно розробити методику його типізації й районування, яка на відміну від існуючих [6, 7] розглядала б змінність властивостей не тільки поверхневого шару на виділеній території (що є нагальною потребою для планування наземного будівництва), а й усієї товщі геологічного середовища. Важливим є врахування техногенних впливів [9], причому серед великого їх розмаїття (рис. 1) необхідно обрати найбільш впливові фактори на геологічне середовище та міські підземні споруди.

Застосування системного підходу знаходило різноманітні реалізації для планування поверхневої забудови великих міст [10], проте для підземної урбаністики не йшло далі загальної постановки завдань і аналізу методів досліджень [2, 11]. Перспективним для оцінки ризиків і ступеню придатності міських територій для освоєння підземного простору є застосування методу морфологічного аналізу (ММА), який дозволяє оцінити ступінь (імовірність) і рівень ризику, тобто економічні втрати від реалізації несприятливих сценаріїв [12, 13].

Перспективним є також застосування методу Монте-Карло, який доповнює прийняті комп'ютерні моделі для більш точної оцінки імовірнісної природи факторів впливу геологічного середовища при типізації міських територій для підземного будівництва [14–17]. Важливим є поєднання цього методу з проектним інструментарієм для уточнення конструктивних параметрів підземних споруд.

Мета статті полягає у розкритті нових можливостей застосування методів типізації, системного аналізу та імовірнісних методів для оцінки сприятливості геологічного середовища розвитку підземної урбаністики.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Типізація геологічного середовища.

Для оцінки сприятливості геологічного середовища урбанізованих територій до будівництва комплексів підземних споруд розроблена нова методика типізації, зорієнтована на освоєння підземного простору [18]. Зокрема, виділені природні чинники: геологічна будова (вік гірських порід, їх походження, склад, будова, походження і закономірності просторового розміщення осадів, тектонічні порушення форми первинного залягання гірських порід); морфологію рельєфу (обриси, розміри, будова елементів рельєфу); характеристика ґрунтів та гірських порід (зокрема, їх мінералогічний та петрографічний склад); фізичні властивості гірських порід, зокрема, механічні

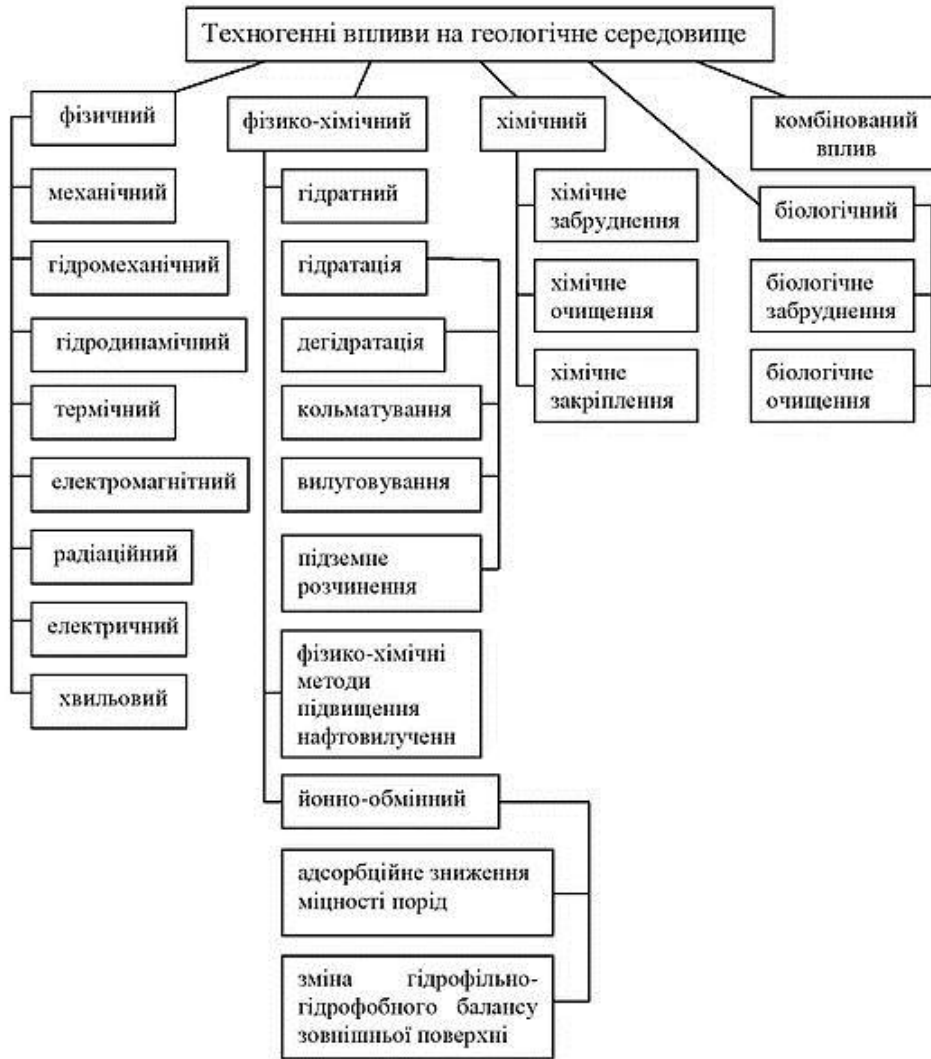


Рис. 1. Класифікація техногенних впливів на геологічне середовище

характеристики та гідрофільно-гідрофобний баланс поверхні, водонисиченість, водопоглинання; порушеність масиву (тріщинуватість, пористість); геодинамічна (тектонічна) обстановка; гідродинамічні умови (визначаються глибинними і поверхневими гідрогеологічними факторами живлення). У розробленій класифікації техногенних впливів на геологічне середовище виділені найбільш значимі: статичне навантаження (що визначається щільністю забудови і поверховістю споруд); динамічні впливи (визначаються характеристикою транспорту, промисловими впливами, наявністю підричних робіт); фактор підземних споруд і їх характеристики (зокрема, конструкція, просторові розміри); фактор геобудівельних робіт; наявність і масштаб гідротехнічних (наприклад, дамби, греблі) і теплотехнічних споруд (ТЕС, ДРЕС) споруд; наявність і характеристики техногенних родовищ, сховищ вторинних ресурсів (терикони, відвали, хвостосховища, шламонакопичувачі).

Розроблена класифікація обумовлює можливість системного моніторингу еволюції геологічного середовища в межах міста, урбанізованих районів. Зокрема, виділяють зони, що характерні відмінними умовами протікання геологічних процесів, умовами розвитку техногенезу. Простежується специфіка взаємодії природних та техногенних факторів впливу на геологічне середовище. Виділення цих зон здійснюється за сумою балів, якими оцінюють вказані чинники впливу. Така методика є універсальною, так як поєднує вплив природних і техногенних факторів на геологічне середовище з метою оцінки сприятливості їх підземному будівництву. Зупинимось на застосуванні запропонованої методики.

Показники основних факторів будемо оцінювати у балах (рейтингом) від 1 до 4 (чим кращі умови, тим менший бал) у відповідності до якісних станів геологічного середовища: 4 бали – геологічне середовище несприятливе для підземного будівництва (на більшій частині траси чи місця розташування споруди спостерігаються

загрозливі впливи природничих і техногенних факторів, або саме будівництво загрожує важливим об'єктам на поверхні чи провокує небезпечні геологічні процеси); 3 бали – недостатньо сприятливе (частина підземної виробки потрапляє на небезпечну ділянку, що потребує спеціальних способів її спорудження й додаткових витрат); 2 бали – сприятливе (відсутні найбільш загрозливі впливи й небезпечні явища, а рівень будівельних і експлуатаційних витрат наближений до середнього значення); 1 бал – вельми сприятливе (значна швидкість і економічність проведення виробки, мінімальні витрати на кріплення й підтримання споруди).

З виділених якісних станів тільки перший виключає доцільність підземного будівництва й потребує «обходу» несприятливої ділянки з боків чи з глибини або значних матеріальних витрат на покращення умов будівництва, технічну і економічну доцільність яких треба обраховувати окремо. Усі інші передбачають можливість освоєння підземного простору на розглянутій території, але з різними економічними показниками будівництва й різними ризиками щодо проектних помилок першого й другого роду. Введений вперше для подібних досліджень стан найбільшої сприятливості (бал дорівнює одиниці) дозволить запобігти проектним помилкам першого роду, коли

сприятливі умови помилково вважають несприятливими, що веде до невиправданого збільшення матеріаломісткості кріплення, закладає більш потужні та енергоємні прохідницькі засоби ніж потрібно. При типовому прогностичному оперуванні лише двома, або навіть трьома станами запобігти помилці першого роду вдавалося не завжди.

Там, де є можливість кількісної оцінки фактора впливу (наприклад, фактор механічної міцності порід або щільності забудови), загальні межі можливої зміни кількісних характеристик параметра розбиваються на діапазони у відповідності до виділених станів, яким присвоюється відповідний бал. При цьому доцільно використовувати існуючі стандарти, нормативні документи, класифікації станів породних масивів та ін. Там де відсутня можливість кількісної характеристики фактора, декларується відсутність або прояв наявності його впливу, а рішення щодо сприятливості тієї чи іншої альтернативи визначається шляхом експертної оцінки.

Чим більшу кількість факторів впливу вдається розглянути, тим більш обґрунтовану оцінку потенціалу інженерно-геологічного освоєння підземного простору буде отримано. Сумарні діапазони балів, наведені у таблиці 1, характеризують той чи інший стан сприятливості з урахуванням кількості факторів.

Таблиця 1

Градація сприятливості геологічного середовища освоєнню підземного простору за сумарним значенням балів факторів

Тип геологічного середовища	I_{sum}^*	Позначка у банку даних, Type_GS
вельми сприятливе	$\leq 1,5n^{**}$	1
сприятливе	$1,5n < I_{sum} \leq 2,5n$	2
недостатньо сприятливе	$2,5n \leq I_{sum} < 3,5n$	3
несприятливе середовище	$\geq 3,5n$	4

* I_{sum} – сумарна кількість балів за всіма факторами;

** n – кількість розглянутих факторів впливу.

При проведенні типізації та візуалізації його результатів використовувався геоінформаційний підхід, який передбачав створення у геоінформаційній системі банку даних природних та техногенних факторів. Виходячи з того, що фактографічна геологічна інформація нерозривно пов'язана з просторовим положенням того чи іншого геологічного об'єкту, банк даних заснований на декількох базових модулях, один з яких – географічна інформаційна система (ГІС) на базі програмного продукту MapInfo, Excel та база даних науково-технічної інформації. В MapInfo для зберігання й подання географічних даних (векторних і растрових) використовується об'єктно-реляційна модель даних, названа базою геоданих (БГД). Структура бази геоданих (набори класів об'єктів, класи просторових об'єктів, топологія й

інші елементи) дозволяє проектувати географічні бази даних. Для проектування БГД в MapInfo використовується мова програмування SQL, і, як візуальне середовище розробки, використовується Visual Basic, Power Builder, Delphi.

Практичне впровадження розробленої методики типізації геологічного середовища для організації підземних об'єктів мілкого закладання було апробовано на ділянці в центрі міста Києва, у Шевченківському районі поряд з Повітрофлотським шляхопроводом (рис. 2). Розміри ділянки у плані 2x2 км, крок сітки 100 м. Для кожного фактору з природного та техногенного блоку створювались тематичні шари. Для визначення типу геологічного середовища кожного з 400 квадратів ділянки (Type_GS) за визначеним діапазоном (див. табл. 1), з тематичних карт за допомогою

SQL-запитів «MapInfo» відбиралось значення балу та проводилось їх сумування (рис. 3). Аналіз даних таблиць і карт вказує, що на виділеній ділянці переважають умови сприятливі для пі

дземного будівництва (71,25 % від площі ділянки), або навіть вельми сприятливі в північній і північно-східній частині ділянки (28,75%), рис. 4.

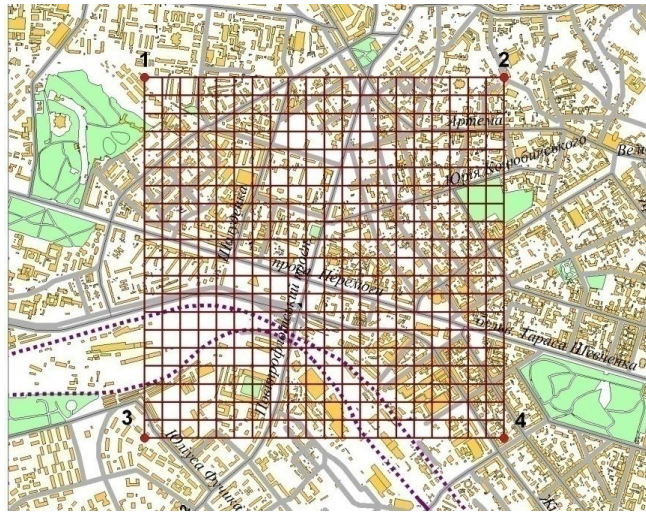


Рис. 2. Схема району досліджень

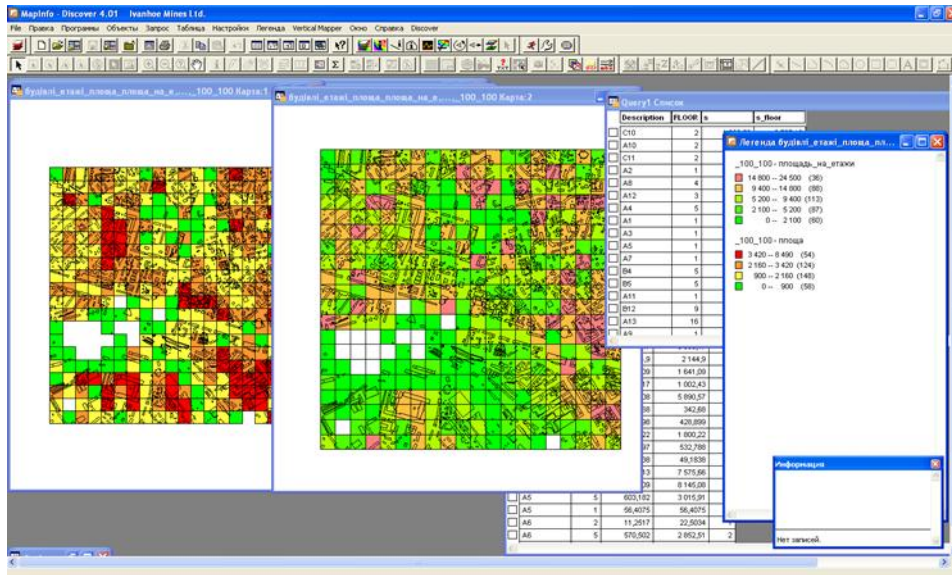


Рис. 3. Тематичні карти за факторами «щільність забудови» та «поверховість»

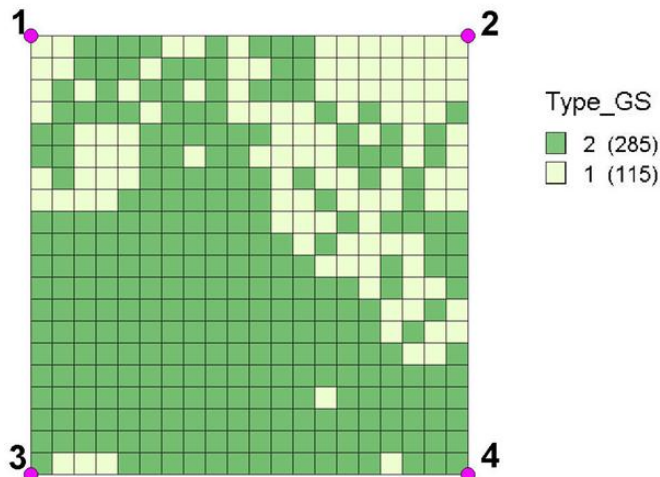


Рис. 4. Схема оцінки сприятливості геологічного середовища освоєнню підземного простору на виділеній ділянці м. Києва (1 – вельми сприятливе; 2 – сприятливе)

Високий рівень сприятливості підземному будівництву на розглянутій ділянці зумовлений здебільшого незначною щільністю забудови (середнє значення в межах ділянки 20,7%) та малою поверховістю забудови (середня кількість поверхів – 3), допустимим рівнем транспортних вібрацій (53-73 дБ), відсутністю техногенних накопичень на більшій частині виділеної ділянки. З іншого боку, в межах виділеної площі майже 90% складають ґрунти, оцінені за властивостями балом 3 (пухкі типи водонасичених відкладів русла Либіді) і лише 10% складено сприятливими для будівництва ґрунтами – глинами та пісками середньої щільності, причому алювіальні невідкладні відклади представлені різнозернистими пісками.

Слід зауважити, що техніко-економічні ризики від впливу різних факторів можуть суттєво відрізнятися, що в перспективі повинно бути враховано відповідними ваговими коефіцієнтами, прийнятими шляхом експертних оцінок. Зокрема, фактор «тип ґрунтових відкладів» повинен отримати більший вплив на загальну оцінку сприятливості підземному будівництву. Складністю застосування методу є також створення бази даних, яка потребує передусім детального дослідження властивостей ґрунтів виділеної ділянки на задану глибину освоєння підземного простору, що зазвичай можна отримати в разі фінансування проектних інженерно-геологічних пошукувань.

Морфологічний аналіз ризиків. Більшість управлінських рішень при освоєнні підземного простору приймається в умовах неповноти інформації про об'єкт управління та характер його взаємодії з іншими складовими системи. Тому існує небезпека не повного досягнення цілей освоєння підземного простору, або реалізації небажаних сценаріїв спорудження об'єктів геоурбаністики, наслідки яких призводять до значного збільшення будівельних витрат. Ризики підземного будівництва можна умовно поділити на геотехнічні, що враховують взаємодію підземних комплексів і геологічного середовища, а також операційні, інвестиційні, правові тощо. Ми зосередимося на найбільш значимих геотехнічних ризиках. Для визначення величини кожного з них (R_i) використовують базову формулу [19]:

$$R_i = P_i \times Y_i, \quad (1)$$

де P_i – імовірність виникнення несприятливої події (в нашому випадку це – неприпустимі зміщення порід і руйнівні деформації конструкцій, збільшення строків будівництва, активізація небезпечних інженерно-геологічних процесів тощо);

Y_i – математичне очікування втрат від несприятливої події.

Методологічною основою врахування ризиків може бути морфологічний аналіз запропонованої природничо-технічної системи «геоурбаністика – геологічне середовище», що дозволить визначити значимі комбінації факторів впливу та ймовірності реалізації несприятливих подій і відповідних економічних втрат за допомоги експертних оцінок. Метод морфологічного аналізу (ММА) на відміну від екстраполяційних методів, які за своєю суттю є продовженням попередніх тенденцій, враховує в задачах передбачення можливі якісні зміни нелінійного характеру. Ідея методу полягає в знаходженні найбільшої кількості, а гранично – й усіх можливих способів вирішення поставленої задачі комбінуванням основних структурних елементів систем або ознак рішень та оцінці найбільш сприятливих за обраним критерієм [2, 13]. За допомогою цього методу можна проводити ймовірнісний аналіз характеристик розвитку складних об'єктів, оцінювати альтернативи рішень, які доцільно приймати в умовах множини потенційних конфігурацій об'єкта. Цілями морфологічного аналізу та синтезу є:

- відбір критичних параметрів, які найбільш впливають на розв'язання поставленої задачі;
- системне дослідження всіх можливих варіантів розв'язання задачі, що впливають із задання, закономірностей побудови і суперечливих вимог до створення об'єкта;
- реалізація сукупності операцій пошуку на морфологічній множині варіантів описів об'єкта дослідження, що відповідають первісним вимогам.

Районування території мегаполісу за сприятливістю умов підземного будівництва дозволить вже на етапі планування розвитку геоурбаністики отримати кількісні оцінки ймовірностей, оцінити ризики й розглянути множини можливих рішень проектної задачі. ММА передбачає залучення для оцінювання експертів, які можуть приймати рішення, базуючись на досвіді, інтуїції і відносно невеликій кількості наявної інформації про ділянку.

Побудова моделі в ММА має такі кроки:

- визначення об'єктів (сутностей), яким відповідатимуть морфологічні таблиці, та зв'язків між ними;
- побудова морфологічних таблиць (МТ) для кожного з об'єктів;
- оцінювання залежностей між параметрами морфологічних таблиць.

Морфологічний аналіз доцільно проводити за допомогою мережі з трьох морфологічних таблиць, пов'язаних між собою (рис. 5).

При цьому перша морфологічна таблиця відображає з максимальною об'єктивністю вплив

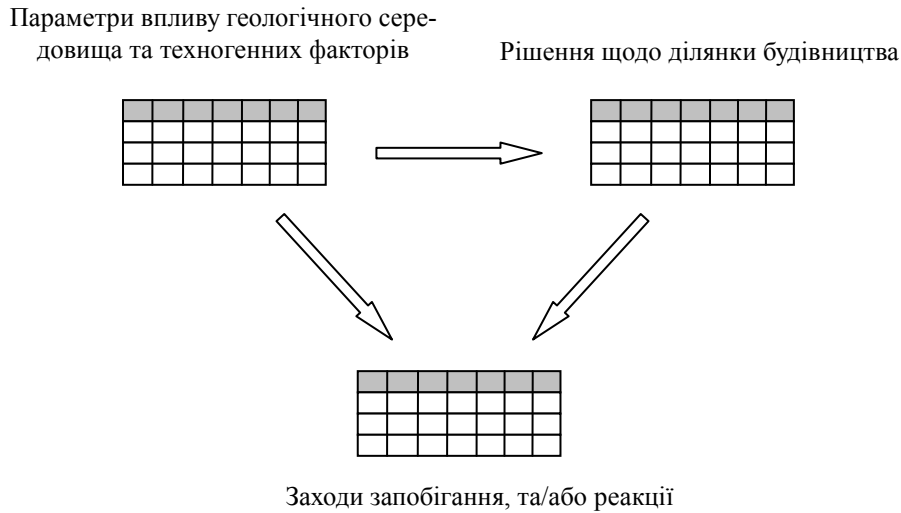


Рис. 5. Схема взаємозв'язку морфологічних таблиць

геологічного середовища і техногенних факторів на ризики підземного будівництва та експлуатації підземних споруд. Такими параметрами можуть бути: рівень динамічного навантаження; показник статичного навантаження від поверхневої забудови; показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву; вплив існуючих підземних об'єктів; генетичний тип та літологічний склад ґрунтів; розрахунковий опір ґрунту, вплив водоносних горизонтів і верховодки, тип рельєфу і морфометрія; інженерно-геологічні процеси; геобудівельні технології.

В другу МТ увійшли параметри рішення, яке доцільно приймати для ділянки, що розглядається. Усього обрано 6 параметрів (табл. 2). Друга морфологічна таблиця описує альтернативи можливих наслідків для підземного міста й залежить від першої таблиці. Третя морфологічна таблиця містить заходи й способи запобігання та реакції на небажану подію, що виникла або може виникнути, й застосовується для підтримання прийняття рішень щодо планування розвитку георбаністики.

Таблиця 2

Морфологічна таблиця рішення щодо ділянки будівництва

Загальна характеристика		
А. Придатність ділянки	В. Масштаб об'єкту	С. Глибина забудови
A.1. Придатна	V.1. Площа перерізу до 10 м ²	C.1. 0...10 м
A.2. Непридатна	V.2. Площа перерізу до 35 м ²	C.2. 10...20 м
	V.3. Площа перерізу до 70 м ²	C.3. 20...50 м
	V.4. Площа перерізу до і більше 70 м ²	C.4. глибше 50 м
Ризики для забудови		
Д. Фактор ризику	Е. Ступінь ризику	Ф. Рівень ризику
D.1. Відмова конструкцій, порушення функціональності та безпеки підземних споруд	E.1. <3%	F.1. 0,1...5% Q
D.2. Небезпечний вплив на поверхневі чи сусідні підземні об'єкти	E.2. 3...10%	F.2. 5...20% Q
D.3. Ініціація зсувних явищ	E.3. 10...20%	F.3. 20...50%Q
D.4. Підтоплення	E.4. 20...50%	F.4. >50% Q
D.5. Екологічні ризики	E.5. >50%	
D.6. Транспортні проблеми		
D.7. Зростання вартості будівництва та експлуатації споруд		

До загальних характеристик Таблиці 2 віднесено параметри А, В, С. Параметр А (придатність ділянки) є інтегруючим, причому альтерна-

тива А.1 (придатність ділянки) охоплює вельми сприятливе, сприятливе та недостатньо сприятливе геологічне середовище, а альтернатива А.2

(непридатність ділянки) – несприятливе середовище, пов'язане з високими значеннями факторів ризику (див. параметри D – F). Параметр В (масштаб об'єкту) характеризує типи підземних споруд, що проектуються, і відображує підземні об'єкти інженерної інфраструктури міста, між іншим – каналізаційні колектори (альтернатива В.1), транспортні комунікації (альтернатива В.2), багатофункціональні підземні споруди камерного типу (альтернатива В.3) та камери великих перерізів: підземні торговельні комплекси, спортивні об'єкти, електростанції, виробничі підприємства тощо (альтернатива В.4). Оскільки в різних геологічних середовищах ступінь сприятливості підземному будівництву значною мірою залежить від масштабу підземної споруди, то для прийняття рішення щодо вибору об'єкту будівництва важливо враховувати альтернативи В. Глибина забудови (параметр С) пов'язана з функціональним призначенням споруди та прийнятою геобудівельною технологією і впливає на формування навантаження на кріплення (оправу) від гірського тиску, статичних і динамічних навантажень.

До ризиків підземного будівництва віднесені параметри D, E, F. Серед альтернатив факторів ризику виділено руйнування конструкцій і порушення функціональності та безпеки споруд (D.1), небезпечний вплив нових виробок на наземні та підземні об'єкти (D.2), ініціація зсувних явищ похилого рельєфу (D.3), підтоплення (D.4), екологічні ризики (D.5), транспортні проблеми (D.6), а також зростання вартості будівництва та експлуатації споруд (D.7). Ступінь ризику (параметр E) вказує на ймовірність реалізації небажаних подій (D.1...D.7), а рівень ризику (параметр F) оцінює економічні втрати від реалізації небажаних подій у відсотках від початкової вартості споруди Q.

Таким чином, морфологічний аналіз запропонованої природничо-технічної геосистеми здатен поєднати сукупність взаємодій природничих і техногенних факторів із факторами структурно-функціонального характеру освоєння підземного простору, відкриваючи нові можливості для стратегічного планування розвитку мегаполісу, економічних обґрунтувань і вдосконалення технологій міського підземного будівництва.

Використання методу Монте-Карло. Значна кількість факторів впливу на конструктивну надійність підземної споруди має ймовірнісну природу, для якої можуть бути встановлені різні категорії невизначеності: просторова мінливість і геологічні фактори, помилки, що виникають при змінах і оцінках геомеханічних параметрів, включаючи їх статистичний розподіл, неповний облік навантажень і упущення, що виникли в ході проектування і будівництва. Кожен підземний

об'єкт має свою вартість будівництва, яка визначається на початковому етапі його параметрами та ринком будівельних послуг, і коректується в ході будівництва фактичними геологічними умовами. Змінність геологічного середовища, окремих властивостей ґрунтів веде до суттєвих проектних помилок першого і другого роду й потребує врахування в проектних рішеннях.

Змінними можна вважати такі параметри як об'ємна вага, кут внутрішнього тертя, модуль деформації, коефіцієнт Пуассона, питома зчеплення, які не мають чіткого фіксованого значення навколо підземної споруди, а можуть приймати будь-які значення в можливих діапазонах змін. Не можна точно передбачити, яке значення матиме один з цих параметрів у будь-якому конкретному місці. Отже, ці параметри описуються як випадкові величини.

Нормальний або Гаусовий розподіл є найбільш поширеним типом функції розподілу ймовірностей, і розподіл багатьох випадкових величин відповідає цьому розподілу. Він зазвичай використовується для ймовірнісних досліджень в інженерній геотехніці, якщо немає вагомих підстав для вибору іншого розподілу. Зазвичай змінні, які виникають як сума ряду випадкових ефектів, жодна з яких не домінує над сумою, розподіляються таким чином.

Очевидно, що бажано включати якомога більший набір спостережень, але в геотехніці існують серйозні практичні і фінансові обмеження на обсяги даних, які можуть бути зібрані. Отже, часто буває необхідно робити оцінки на основі судження, досвіду або зіставлення з результатами, опублікованими іншими. Ці труднощі часто використовуються як привід для відмови від використання ймовірнісних інструментів в інженерній геотехніці, але, досвід демонструє, що корисні результати можуть бути отримані навіть з дуже обмежених виборок [14].

Перспективним напрямком є отримання кількісної оцінки ризику втрати носійної здатності геобудівельної конструкції шляхом використання синтезу двох сучасних способів моделювання – чисельного методу скінчених елементів (МСЕ) [20] і ймовірнісного методу Монте-Карло (ММК) [16, 17]. Переваги такого об'єднання полягають у переході від детермінованих методів вирішення складних геомеханічних задач до врахування ймовірнісних відхилень і оцінки ризиків.

Реалізація ідеї синтезу методів МСЕ + ММК може здійснюватися в трьох варіантах. Перший - використання єдиного програмного комплексу, що об'єднує відомі комп'ютерні технології МСЕ і ММК. Другий - генерація вхідної інформації по ММК, багаторазове рішення за МСЕ відповідно до виконаної генерації, інтерактивна обробка ви-

хідного інформаційного масиву. Третій варіант полягає в роздільному виконанні завдання методами чисельного та імітаційного моделювання з подальшим зіставленням отриманих результатів.

Як приклад розглянемо характерну задачу оцінки ризику обриву стіни в ґрунті при будівництві котловану, який споруджується в суцільному глинистому масиві шириною 80 м і висотою 20 м. Для вирішення даної задачі був обраний другий варіант синтезу зазначених методів, для реалізації якого було використано розрахунковий комплекс Plaxis 8.2 та інструмент аналізу даних «Генерація випадкових значень» у програмі Excel. Будівництво котловану моделю-

ється в середовищі Plaxis як поетапний процес. Розрахунок заглибленої споруди, що взаємодіє з ґрунтовим масивом являє собою складну геотехнічну систему. Поведінка ґрунтового масиву моделюється згідно відомій моделі міцності ґрунту, моделі Кулона – Мора. Моделювання ситуації залежить від ступеня подрібнення сітки скінченних елементів, у даній задачі обрано середня щільність сітки, скінченні елементи якої мають трикутну форму. На рис. 6 показана модель ґрунтового масиву.

У поставленій задачі ризик залежить від кількох детермінованих та стохастичних величин, які наведені в таблицях 3 і 4.

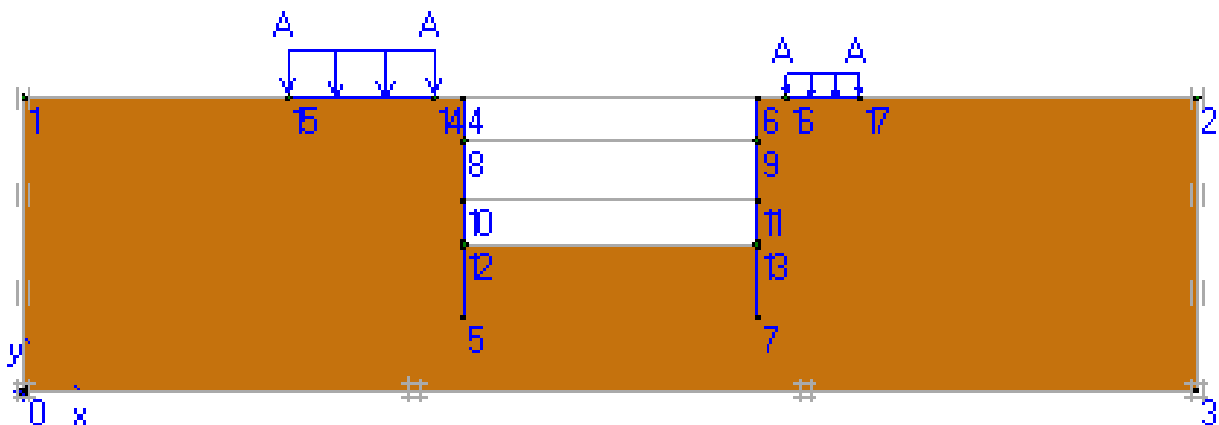


Рис. 6. Модель ґрунтового масиву

Таблиця 3

Детерміновані параметри моделі

Найменування параметра	Значення детермінованих параметрів
Глибина котловану H , м	10
Ширина котловану B , м	20
Довжина стіни в ґрунті h , м	15
Товщина стіни в ґрунті d , м	0,5
Нормальна жорсткість EA , кН	15000000
Згинальна жорсткість EI , кН/м ² /м	312000
Навантаження в лівій частині q , кН/м ²	10
Навантаження в правій частині q , кН/м ²	5

Таблиця 4

Статистичні параметри моделі

Найменування параметра	Значення випадкових параметрів	
	Середнє	Середньо-квадратичне відхилення
Питома вага ґрунту γ , кН/м ³	17,3	3
Коефіцієнт Пуассона ν	0,35	0,05
Модуль деформації E_{ref} , кН/м ²	17000	3000
Питоме зчеплення C_{ref} , кН/м ²	5	2
Кут внутрішнього тертя ϕ , °	23	5

Припускаємо, що значення стохастичних параметрів розподілені за нормальним розподілом. Окремо зупинимось на двох з них:

- Кут тертя φ . Середнє значення приймається рівним 23° , що є приблизним центром нормального розподілу передбачуваного діапазону міцності на зрушення. Зі стандартного відхилення 5° випливає, що близько 68% значень кута тертя будуть знаходитися між 18 і 28° .
- Когезійна сила C . Значення 5 т / м^2 було обрано в якості середньої сили зчеплення, і було встановлено стандартне відхилення 2 т / м^2 . Для забезпечення широкого діапазону можливих значень когезійної міцності

мінімальне і максимальне значення, що використовуються для усічення нормального розподілу, становлять 0 і 25 т/м^2 відповідно. Мінімальну кількість необхідних ітерацій визначимо за формулою [21]:

$$n = \left(\frac{d}{a}\right)^2 \frac{1-p}{p} \quad (2)$$

де n - кількість ітерацій;

d - нормальне стандартне відхилення за таблицею 3;

a - допустима помилка;

p - імовірність відмови.

Таблиця 5

Нормальне стандартне відхилення

Відсоток довіри (%)	Нормальне стандартне відхилення (d)
80	1,28
85	1,44
90	1,64
95	1,96
99	2,57

Імовірність відмови оцінюється як $p = 0,1$, що забезпечує достатньо високий для умов ґрунтового масиву показник. Розраховують кількість імітацій Монте-Карло, необхідних для оцінки ймовірності. Практика геобудівництва свідчить, що допустима помилка може складати 20%.

$$d = 1,64, \alpha = 0,2 \text{ і } p = 0,1$$

$$n = \left(\frac{1,64}{0,2}\right)^2 \frac{1-0,1}{0,1} = 605 \quad (3)$$

За результатами розрахунку бачимо, що мінімальна кількість ітерацій повинна бути не менше 605.

На основі цього було згенеровано масив даних вищезазначених випадкових параметрів (для кожного параметру по 605 значень). Розіграш випадкових (стохастичних) параметрів здійснювався за допомогою інструменту аналізу даних «Генерація випадкових значень» у пакеті EXCEL за нормальним законом розподілу окремо для кожного параметра. Відповідно до табл. 4 були задані середні та середньо-квадратичні відхилення.

Слід зазначити, що для імітаційного моделювання в середовищі PLAXIS послідовно змінювалися лише геомеханічні параметри (табл. 4), чим моделювалося змінне геологічне середовище, для детермінованого ж розрахунку були взяті лише середні значення.

Результати детермінованого розрахунку засвідчили, що максимальне відхилення стіни в ґрунті від вертикальної площини склало $6,27 \text{ см}$. Отримане значення не перевищує максимально допустиме відхилення, яке для залізобетонного кріплення в нашому випадку дорівнює -10 см , тобто споруда вважається надійною й спроектованою безпомилково. Проте детермінований підхід, як побачимо далі, не дозволяє кількісно оцінити надійність або зворотне значення – ризик.

Результати імітаційного моделювання (рис. 7) свідчать, що імовірність повного руйнування стіни в ґрунті склала $1,65\%$, а імовірність відхилення від горизонтальної площини більше нормативного значення (втрата стійкості) склала $6,11\%$. Сумарний ризик відмови склав $7,76\%$. Замовник, інвестор проекту повинні бути попереджені про існуючі ризики й можливі економічні наслідки їх реалізації й прийняти рішення щодо стратегії управління ризиками.

Таким чином, широко розповсюджений у проектуванні інженерних об'єктів метод скінчених елементів та різні програмні комплекси його реалізації можуть бути ефективно доповнені програмним інструментарієм імовірнісних методів. Оскільки геологічне середовище характеризується значною змінністю параметрів, висока варіативність яких пов'язана з невизначеністю поведінки ґрунтів і не може бути досліджена повністю, проектування геобудівельних споруд повинно



Рис. 7. Гістограма ризику

спиратися на синтез детермінованих та ймовірнісних методів розрахунків.

Висновки.

Розроблено методику типізації та районування геологічного середовища мегаполісу, яка вперше оцінює територію за сприятливістю підземному будівництву й розглядає змінність властивостей не тільки поверхневого шару на виділеній території, а й усієї товщі інженерно-геологічного середовища. Застосована методика морфологічного аналізу, яка вперше дозволяє оцінити різноманітні типи ризиків, імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові ви-

трати, з ними пов'язані, ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. При визначенні параметрів підземних споруд на проектній стадії доцільно застосовувати методи імітаційного моделювання, найпоширенішим з яких в геомеханіці є метод Монте-Карло. Його синтез з методом скінчених елементів відкриває нові можливості для уточнення результатів широкого кола задач підземного будівництва й визначення ризиків. Це дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів.

Література

1. Gilbert, P. H., and others. *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*, The National Academies Press – 2013. – 230 p.
2. Pankratova, N. *Problems of Megapolises Underground Space System Planning*/ N. Pankratova, G. Gayko, V. Kravets, I. Savchenko // *Journal of Automation and Information Sciences*. – Т. 48. – 2016. – № 4. – Р. 32-38.
3. Гайко, Г. І. Транспортноорієнтована природничо-технічна геосистема «геоурбаністика – геологічне середовище»/ Г. І. Гайко, В. Г. Кравець, В. П. Булгаков, Ю. І. Гайко // *Вісник НТУ «КПІ»*. Серія «Гірництво». – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – Випуск 29. – С. 18-24.
4. Гайко, Г. І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст / Г. І. Гайко // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія «Гірництво». – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – Випуск 25. – С. 35 – 40.
5. СНиП 2.01.15-90. *Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования*. – М. : Госстрой, 1992.
6. Горбатюк, Н. В. *Районування урбанізованих територій на основі інтегральних оцінок інженерно-геологічних умов (на прикладі м. Сімферополя): дисертація канд. геол. наук* / Н. В. Горбатюк. – К., 2003.
7. Кріль Т.В. *Вплив техногенних динамічних навантажень на інженерно-геологічні умови урбанізованих територій (на прикладі м. Києва): Автореф. дис. канд. геол.-мінерал.* /Т.В. Кріль; [Інституту геологічних наук НАН України]. – К., 2012. – 23 с.
8. Бондарик, Г. К. *Общая теория инженерной (физической) геологии*/ Г. К. Бондарик. – М. : Недра – 1981. – 256 с.
9. Білецький, В. С. *Класифікація техногенних впливів на геологічне середовище*/ В.С. Білецький // *Нафтогазова інженерія*. – 2017. – №2. – С. 27 – 34.
10. Ресин, В. И. *Развитие больших городов в условиях переходной экономики. Системный подход*/ В. И. Ресин, Ю. С. Попков. – М. : Ленанд, 2013. – 328 с.

11. Картозия, Б. А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции / Б. А. Картозия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 615 – 629.
12. Згуровский, М. З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения./ М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – Київ : Наукова думка, 2011. – 744 с.
13. Панкратова, Н. Д. Морфологічний аналіз. Теорія, проблеми, застосування: Навчальний посібник / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко. – Київ : Наукова думка, 2015. – 245 с.
14. Шашенко, А. Н. Методы теории вероятности в геомеханике / А. Н. Шашенко, Н. С. Сургай, Л. Я. Парчевский. – К. : Техника, 1994. – 216 с.
15. Потапов, В. Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности / В. Д. Потапов, А. Д. Яризов. - М. : Высшая школа, 1981. – 191 с.
16. Смолич, С. В. Решение горно-геологических задач методом "Монте-Карло": Учеб. Пособие/ С. В. Смолич, К. С. Смолич; ЧитГУ. – Ч. : Университет, 2004. – 103 с.
17. Бугров, А. К. Определение вероятностных характеристик активного давления грунта методом Монте-Карло / А. К. Бугров, В. Г. Шилин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2002. – № 5.
18. Гайко, Г. І. Типізація геологічного середовища урбанізованих територій при освоєнні підземного простору / Г. І. Гайко, Т. В. Кріль // XIV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – Київ, 2015. – С. 173 – 180.
19. Кауфман, Л. Л. Геотехнические риски подземного строительства: Монография / Л. Л. Кауфман, Б. А. Лысков. – Донецк : Норд-Пресс, 2009. – 362 с.
20. Толок, В. А. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / В. А. Толок, В. В. Кричевский, С. И. Гоменюк и др. – К. : Наук. Думка, 2003. – 316 с.
21. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М. : Мир, 1969. – 395 с.
22. Saluga P. Ocena ekonomiczna projektów i analiza ryzyka w górnictwie [Economic Evaluation and Risk Analysis of Mineral Projects]. Studia, Rozprawy, Monografie, nr 152, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2009. – 278 p.

UDC 519.876.2

Hennadii Haiko,

Doctor (Technical Science), Professor,

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",

Borschagivska str., 115, Kyiv, 03056, Ukraine,

e-mail: gayko.kpi@meta.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7471-3431>;

Ivan Matviichuk,

PhD student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

e-mail: gayko.kpi@meta.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7471-3431>;

Volodymyr Biletskyi,

Doctor (Technical Science), Professor,

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

Kyrpychova str., 2, Kharkiv, 61002, Ukraine,

e-mail: biletsk@i.ua, <http://orcid.org/0000-0003-2936-9680>;

Piotr Saluga,

Doctor (Technical Science), Professor,

Department of Management in Energy, AGH University of Science and Technology (Krakow),

al. A. Mickiewicza, 30, Krakow, 30-059, Poland,

e-mail: psaluga@zarz.agh.edu.pl, Scopus (author ID): 6506800622

FORECAST ASSESSMENT METHODS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT PROMOTION FOR THE CONSTRUCTION OF URBANISTICS SUBJECTS

The purpose of the paper is to reveal new opportunities and develop tools for applying typing methods, system analysis and probabilistic methods for assessing favorable geological environment of underground urban development.

A comprehensive method was used based on methods of geological environment typification, morphological analysis of underground construction sites, Monte Carlo synthesis and finite elements methods, taking into account variability of soil properties in the geocoding area.

Scientific results include: a new method of geological environment typification, which examines variability of properties not only of the surface layer in the allocated area, but also the entire thickness of the geological environment for the first time, where the underground object is located; scientific tool for morphological analysis methods to assess the favorable urban conditions for underground construction; synthesis of the Monte Carlo method and the finite element method in order to take into account the probabilistic nature of soils properties when developing the underground space.

Practical results: Geological environment on the territories in Shevchenko district of Kyiv was typified; thematic maps for individual factors of influence were created; morphological tables with the analysis of risks for development were constructed, dependencies between the parameters of morphological tables were constructed, specified parameters of underground structures taking into account the probabilistic nature of the properties of the geological environment were calculated. This provides investors and city government administrations with an effective risk management and investment tool for underground urban development.

Keywords: geological environment, geourbanism, underground space, system approach, forecast estimation, typifying method, morphological analysis, morphological tables, geomechanical risks, Monte Carlo method.

References

1. Gilbert, P. H., and others, (2013). *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*. The National Academies Press, 230.
2. Pankratova, N. D., Gayko, G. I., Kravets, V. G., Savchenko I. A., (2016). *Problems of Megapolises' Underground Space System Planning*. *Journal of Automation and Information Sciences*, 48, 32–38.
3. Haiko, H. I., Kravets, V. H., Bulhakov, V. P., Haiko, Yu. I. (2015). *Transit oriented natural-technical ecosystems «geourbanistics - geotechnical environment»* *Visnyk NTU «KPI». Series «Mining», 29, 18–24.*
4. Haiko, H. I., (2014). *Problems of systematic planning of underground construction for large cities*. *Visnyk NTUU «KPI». Series «Mining», 25, 35–40.*
5. *Construction Norms and Regulations 2.01.15-90. Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic design provisions.* - Moscow: State construction, 1992.
6. Horbatiuk, N. V., (2003). *The zoning of urbanized territories based on integral estimates of engineering and geological conditions*, *The National Academy of Sciences, Institute of Geological Sciences of Ukraine, Kyiv.*
7. Kril, T. V., (2012). *Influence of man-made dynamic loads on engineering-geological conditions of urbanized territories (on the example of Kyiv)*. *The National Academy of Sciences, Institute of Geological Sciences of Ukraine. Kyiv, 23.*
8. Bondaryk H. K., (1981). *General theory of engineering (physical) geology*. Nedra, 256.
9. Biletskyi, V. S., (2017). *Classification of anthropogenic impact on geological environment*. *Oil and gas engineering, 2, 27–34.*
10. Resyn, V. Y., Popkov, Yu. S., (2013). *Development of large cities in a transition economy. System approach*. Moscow, Russia: Lenand, 328.
11. Kartozhya, B. A., (2015). *Mastering the underground space of large cities. New trends*. *Scientific and technical journal, 1, 615–629.*
12. Zghurovskyi, M. Z., Pankratova, N. D. (2011). *System analysis: problems, methodology, annexes*. Kyiv, Ukraine: *Scientific thought, 742.*
13. Pankratova, N. D., Savchenko, I. O. (2015). *Morphological analysis. Theory, problems, application: Tutorial*. Kyiv, Ukraine: *Scientific thought, 245.*
14. Shashenko, A.N., Surhai, N.S., Parchevskiy, L.Ia. (1994). *Methods of probability theory in geomechanics*. Kyiv, Ukraine: *Technique, 216.*
15. Potapov, V. D., Yaryzov, A. D. (1981). *Simulation modeling of production processes in the mining industry*. Moscow, Russia: *Higher School, 191.*
16. Smolych, S. V., Smolych, K. S. (2004). *Solution of mining and geological tasks using the Monte Carlo method*. Chita, Russia: *Chita State University, 103.*
17. Buhrov, A. K., Shylyn, V. H. (2002). *Determination of the probabilistic characteristics of the active soil pressure by the Monte Carlo method*. *Reconstruction of cities and geotechnical construction, 5.*
18. Haiko, H. I., Kril, T. V. (2015). *Typization of the geological environment of urbanized territories during the development of underground space*. *XIV International Scientific and Practical Conference "Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Use, Emergency Measures"*, 173–180.
19. Kaufman, L. L., Lisykov, B. A. (2009). *Geotechnical risks of underground construction: Monograph*. Donetsk, Ukraine: *Nord-Press, 362.*
20. Tolok, V.A., Krychevskiy, V.V. (2003). *Finite Element Method: Theory, Algorithms, Realization*. Kyiv, Ukraine: *Scientific thought, 316.*
21. Khan, H., Shapyro, S. (1969). *Statistical models in engineering problems*. Moscow, Russia: *Mir, 395.*
22. Saluga P. (2009). *Ocena ekonomiczna projektów i analiza ryzyka w górnictwie [Economic Evaluation and Risk Analysis of Mineral Projects]*. *Studia, Rozprawy, Monografie, 152, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 278.*

УДК 551.248.2[(4-11)+(5-14)]

Сергей Владимирович Горяйнов,

канд. геол.-мин. наук, доцент кафедры геологии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразіна, ведущий научный сотрудник Украинского научно-исследовательского института природных газов, Гимназическая наб., 20, г. Харьков, 61010, Украина, e-mail: gorjajnov@mail.ru

О ПОЛОЖЕНИИ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА В ОБЩЕЙ СХЕМЕ КАЙНОЗОЙСКИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ И БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

Кайнозойские движения Восточной Европы и Ближнего Востока отражают глобальные тектонические процессы. Закрывание палеоокеана Тетис происходило в данных регионах путем приращения к южной пассивной окраине Восточной Европы микроконтинентов Тисии и Анатолии, надвигающихся своими активными северными окраинами в северо-западном направлении. В результате их коллизий в палеоцене в Европе сформировались обширные области ларамийской складчатости. Из-за конфигурации зон коллизий на южной окраине Восточной Европы сформировался крупный залив (будущие Карпаты), лишенный ларамийских деформаций и заполнявшийся меловым и палеогеновым флишем. В миоцене общее направление тектонического движения Европы сменилось на северо-восточное, что связано с раскрытием Атлантики. Это сформировало аттическое горно-складчатое сооружение Карпат и усложнило структуру других регионов Украины. При этом продолжающееся закрытие Восточно-Средиземноморского бассейна с субдукцией тяжелой океанической плиты под Критско-Элладскую континентальную окраину привело к отрифтованию Анатолии от южной окраины Евразии в противоположном, юго-западном направлении. Это привело к раскрытию Черноморского бассейна как тылового спредингового окраинного моря между противоположно движущимися плитами. Результаты представлены в виде палеотектонических схем. Показано хорошее совпадение структурно-геологических наблюдений с сейсмологическими данными, региональным геологическим материалом и глобальными моделями.

Ключевые слова: геодинамика, новейшая тектоника, Восточная Европа, юго-западная Азия, Черноморский регион.

С. В. Горяйнов. ПРО ПОЛОЖЕННЯ ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ В ЗАГАЛЬНІЙ СХЕМІ КАЙНОЗОЙСЬКИХ ТЕКТОНІЧНИХ РУХІВ СХІДНОЇ ЄВРОПИ ТА БЛИЗЬКОГО СХОДУ. Кайнозойські рухи Східної Європи й Близького Сходу відображають глобальні тектонічні процеси. Закриття палеоокеану Тетіс відбувалося в даних регіонах шляхом приращення до південної пасивної окраїни Східної Європи мікроконтинентів Тисії й Анатолії, що насувалися своїми активними північними окраїнами в північно-західному напрямку. У результаті їхніх колізій у палеоцені в Європі сформувалися великі області ларамійської складчатості. Через конфігурацію зон колізій на південній окраїні Східної Європи сформувалася велика затока (майбутні Карпати), позбавлена ларамійських деформацій, що й заповнювалася крейдовим і палеогеновим флішем. У міоцені загальний напрям тектонічного руху Європи змінився на північно-східний, що пов'язане з розкриттям Атлантики. Це сформувало аттичну гірничо-складчасту споруду Карпат і ускладнило структуру інших регіонів України. При цьому триває закриття Східно-Середземноморського басейну із субдукцією важкої океанічної плити під Критсько-Елладську континентальну окраїну призвело до відрифтування Анатолії від південної окраїни Євразії в протилежному, південно-західному напрямку. Це призвело до розкриття Чорноморського басейну як тылового спредингового окраинного моря між плитами, що протилежно рухаються. Результати представлені у вигляді палеотектонічних схем. Показано гарний збіг структурно-геологічних спостережень із сейсмологічними даними, регіональним геологічним матеріалом і глобальними моделями.

Ключові слова: геодинаміка, новітня тектоніка, Східна Європа, південно-західна Азія, Чорноморський регіон.

Краткий обзор проведенных исследований. Тектоническим движениям Черноморского региона посвящена обширная литература, отражающая многочисленные исследования нескольких десятилетий. Обзоры достижений и заблуждений в этой области приведены, в частности, в монографиях [2, 25]. Эти обзоры показывают, что используемые теоретические основы изучения тектонических движений региона весьма разнятся.

Основой изучения геологического строения должны быть геологические карты. На имеющихся государственных картах Крымского региона объективно отражены соотношения структурных этажей, которые не характерны для остальной Украины (угловое несогласие в подошве нижнего мела) [1, 12]. В то же время на этих картах отсутствуют тектонические меланжи как класс геологических объектов, в то время как их наличие устанавливается непосредственными наблюдениями в обнажениях и карьерах [25]. Поэтому

использование таких карт для анализа тектонических движений затруднительно.

О.Б. Гинтов и его коллеги геодинамическую эволюцию региона восстанавливают как последовательные этапы напряжений и деформаций. Поля напряжений, в свою очередь, реконструируются на основании анализа ориентировок трещин и определения их морфологических типов. Результат анализа приводится в виде ориентировок осей главных напряжений, которые вызвали появление трещиноватости. Сводная диаграмма ориентировок главных осей напряжений мезокайнозойских деформаций земной коры Крымского полуострова [2, рис. 3.105] показывает их максимумы в северо-северо-западном и северо-восточном направлениях, что примерно соответствует ларамийской и аттической вергентностям Украины. Однако получены данные о ориентировках сдвигов и надвигов в юре и таврической серии Горного Крыма, не характерные для остальной Украины. Анализ механизмов современ-

ных землетрясений показывает преобладание сбросовых подвижек (то есть условий растяжения), и иногда - сдвиговых в северо-восточном направлении [2, табл. 3.32].

Работы В.В. Юдина посвящены реконструкциям геодинамических обстановок, которые сменяли друг друга на территории Крымско-Черноморского региона [25]. Основой служило детальное картирование опорных разрезов и обнажений Крыма с анализом ориентировок слоистости. Автором выделены и прослежены меланжи, олистостромы и коллизионные швы как объективные геологические образования. Однако вергентности меланжей, шарьяжных блоков не измерялись, а в основном постулировались. При этом широко применялась модель развития попп-надвигов. В палеоцене в Крымском регионе В.В. Юдиным предполагается не коллизионные процессы, а, наоборот, рифтогенез и заложение будущей впадины Черного моря. Согласно данным построениям, это отделило микроконтинент Понтию, впоследствии (после эоценовой коллизии) причленившийся к Малой Азии. В соответствии с данной схемой коллизионные процессы в кайнозой на украинском берегу Черного моря не происходили, а горообразование связано с субдукционными (или псевдосубдукционными) процессами под южным берегом Крыма. Но тогда становится непонятным, что же смяло почти всю Украину и половину Польши между маастрихтским веком и эоценовой эпохой с юга на север [4-6 и 9-10].

В.В. Юдиным установлены и другие, весьма интересные структурные соотношения. В частности, тектонические меланжи, образованные по породам от карбона до нижнего мела включительно, достоверно перекрываются подошвой нижнемеловых отложений. В Предгорном и Западном Крыму меловые и палеогеновые отложения вообще залегают согласно и параллельно [12], что говорит об отсутствии здесь ларамийских деформаций. Такие соотношения не характерны для остальной Украины. При этом на Керченском полуострове (Восточный Крым) на разрезе В.В. Юдина [25] вновь видно структурное несогласие между мелом и палеогеном (вдоль разреза рис. 5.11.5 длина границы нижнего и верхнего мела почти вдвое больше длины подошвы кайнозоя).

Таким образом, в ходе многочисленных исследований кайнозойских деформаций Крымско-Черноморского региона собран огромный, комплексный и разноплановый фактический материал. Но даже его краткий анализ показывает, что он недостаточно увязан с региональной геологией сопредельных регионов.

Постановка общей проблемы.

Какова же общая и непротиворечивая картина кайнозойских тектонических движений Украины, Восточной Европы и Ближнего Востока? Какое место занимает в этой системе Азово-Черноморский регион?

Целью статьи является попытка ответить на эти вопросы. *Метод поиска ответов* – выявление структурных соотношений геологических комплексов (стратифицированных и нестратифицированных) и анализ изменения или сохранения этих соотношений в географическом пространстве. Дополнительно использованы современные геодинамические модели и данные сейсмологии о современных тектонических подвижках в регионе.

Результаты решения представлены в виде палеогеографических схем.

Общие схемы кинематики кайнозойских движений.

Изложенные в публикациях [3-10, 28] структурные соотношения геологических комплексов позволяют перейти к составлению пространственных схем развития кайнозойских деформаций. Начнем с более древних ларамийских движений. Схема распространения ларамийской складчатости в Восточной Европе показана на рис. 1.

Установленный характер северного ограничения развития складчатых деформаций в Украине и Польше (штриховая линия) показывает, что коллизионные деформации южной окраины Евразии развивались, хотя и синхронно, но от двух разных источников ограниченной ширины ("инденторов"). Западный из них примерно соответствует закарпатскому микроконтиненту Тисии [20]. В качестве восточного можно предположить Анатолийский микроконтинент.

Судя по размещению геологических формаций, это была коллизия пассивной (с севера) и активных окраин микроконтинентов с юга (коллизии гималайского типа для столкновений энсалических островных дуг с континентом) [11]. Об активности северной окраины Тисии косвенно свидетельствуют обломки юрско-нижнемеловых вулканитов, меловых (?) гранитов в альбсенонских конгломератах, а главное, обломки офиолитов и глаукофановых сланцев позднеюрского возраста в баррем-аптских «ургонских» известняках Западных Карпат (Словакия) [18]. В Крыму также наблюдаются фрагменты анатолийского надсубдукционного вулканоплутонического пояса (аллохтонные блоки мезозойских вулканоплутонических построек) и фрагменты коллизионных сутур (меланжевые зоны). Такая компоновка геологических формаций указывает на закрытие окраинно-морских бассейнов между се-



Рис. 1. Схема кинематики ларамийских тектонических движений:
1 – океанические плиты; 2 – "гондванские" фрагменты континентальной коры (Аф+Ар – Африкано-Аравийский, Ир – иранские микроконтиненты, Ан – Анатолия, Ти – Тисия); 3 – Евразия; 4 – островодужные системы; 5 – зоны максимальных деформаций коллизионных складчатых областей; 6 – северная граница ларамийских деформаций в пределах Евразии; 7 – направление относительных тектонических движений

верными окраинами этих микроконтинентов и южной окраиной Евразии.

Между Тисией и Анатолией, причленившись к Евразии, на рис. 1 размещен Карпатский морской бассейн или залив. О его существовании как минимум в поздне меловую эпоху свидетельствуют следующие данные.

В позднем мелу на южной (пассивной) окраине Евразии образовалась карбонатная меломергельная толща, протягивающаяся более чем на 3,5 тыс. км от Каспийского моря до Великобритании. Фациальный облик толщи указывает на мелководные морские, то есть шельфовые условия образования. Ширина этой формации на долготах Украины и Польши составляет 500-600 км, то есть шельф был весьма обширным.

Известно, что флишевая формация образуется на континентальном склоне и у его подножия из осадков, сносимых с шельфа. В Украинских Карпатах флишевые свиты верхнего мела, синхронные шельфовой меломергельной толще, имеют разный литологический состав, меняющийся с востока на запад [13-17].

В восточных покровных зонах (Бориславо-Покутской, Скибовой, Кросненской) этому стратиграфическому уровню соответствует стрыйская свита карбонатного флиша с прослоями известняков и мергелей (700-1500 м). В центральных покровных зонах (Дуклянской, Поркулецкой, Черногорской) стратоаналогами меломергельной толщи являются уже нижнечерногоровская подсвита и скуповская свита преимущественно силикатного известковистого флиша. Свиты достигают толщины 1-1,5 км. В более западной Пенинской зоне верхний мел представлен ярмутской свитой аргиллитов, песчаников с пачками тонко ритмичного флиша. В пределах Закарпатского прогиба верхний мел (сеноман-коньяк) - это кричевская свита темно-серых, известковистых аргиллитов с прослоями песчаников, известняков, мергелей общей толщиной до 600 м.

Силикатный состав верхнемеловых флишевых толщ центральной и западной частей Карпат и Закарпатья показывает, что карбонатный шельф Евразии не мог быть для них источником сноса. Этот флиш образован на континентальном склоне другого берега моря или залива. Источником сноса для него, вероятнее всего, являлся микроконтинент Тисия (после коллизии - полуостров Евразии). А карбонатный состав флиша в восточных зонах Карпат указывает на возможный снос обломочного материала с евразийского шельфа. Это и отражено на рис. 1.

Ларамийское угловое несогласие в Украинских Карпатах установлено только в Пенинской зоне и Закарпатском прогибе. Анализ взаимоот-

ношений вергентности ларамийских движений с размерами, взаимным расположением и конфигурацией Тисии и Анатолии наглядно объясняют отсутствие следов ларамийской складчатости в стратиграфическом разрезе большей части Украинских Карпат. Борта "Карпатского залива" занимали позиции пассивных континентальных окраин (северо-восточной у Тисии и юго-западной у Евразии), а коллизионные зоны деформаций располагались в основном за пределами этого "залива" - соответственно северо-западнее и юго-восточнее него (рис. 1).

Орогенные поднятия ларамийской складчатости на территории Украины были практически сэродированы к миоцену, о чем свидетельствует широкое развитие эоцен-олигоценых и, особенно, миоценовых шельфовых отложений на территории Украины [1]. Это говорит о постепенном восстановлении здесь режима пассивной континентальной окраины после пенепленизации ларамийской складчатой области.

Приблизительно на границе миоцена и плицена рассматриваемая территория была охвачена аттическими коллизионными процессами, что сопровождалось резкой сменой общего направления движения литосферных плит региона с северо-северо-западного на северо-восточное. Следует заметить, что для Средиземноморского региона эта смена направлений датирована еще более точно как граница тортонского и мессинского веков позднего миоцена [19]. Такое же северо-восточное направление движения сохраняется и поныне [23]. Северо-восточная вергентность аттических движений почти перпендикулярна предшествующим ларамийским (северо-северо-западным), и потому не может считаться унаследованной [3-5].

В то же время ориентировка современных тектонических движений Турции, установленная по сейсмологическим данным Национального информационного центра землетрясений Геологической службы США (2003 г.), почти противоположная [30]. Малая Азия с разворотом надвигается на Восточное Средиземноморье в юго-западном направлении (рис. 2). Такую же юго-западную вергентность в Иране и Ираке имеют горные цепи Загроса, надвигающиеся с послемiocенового времени на Месопотамский прогиб [27]. Этому также вполне соответствует противоположная, относительно крымской и вообще украинской, юго-западная вергентность аттических надвигов близлежащего Кавказа.

Следовательно, в Черноморском регионе наблюдается резкая контрастность направлений *современных* тектонических движений: севернее Черного моря они являются северо-восточными, а

южнее – противоположными, западными и юго-западными.

Нетрудно видеть, что аттические движения наложились на весьма разнородный геологический субстрат (рис. 1). Это привело к различным структурным следствиям в разных частях Восточной Европы и Ближнего Востока (рис. 3).

Надвигание на северо-восток причленившегося ранее к Евразии микроконтинента Тисии привело к расчешуиванию и шарьированию флишевого комплекса "Карпатского залива" в этом же направлении. Ограниченность микроконтинента по латерали привела к возникновению не линейного, а дугообразно изогнутого Карпатского складчатого сооружения. Кроме того, эти движения повлияли на геологическую структуру и рельеф Украины до Приазовья и Донецкого кряжа включительно [6, 10].

Аравийская плита двигалась также на северо-восток, о чем свидетельствуют ориентировки трансформных разломов Красного моря и Аденского залива, а также взаиморасположение "Афарского теругольника" (Эфиопия) и южного (Йеменского) окончания Аравийской плиты. Ее движение в северо-восточном направлении привело к закрытию серии окраинных морей и аккреции островных дуг на территории Ирана, Ирака, Закавказья и Восточной Турции с образованием складчатого сооружения Загроса. Но, в отличие от Тисии, Аравийская плита своей северо-восточной пассивной окраиной поддвигалась под островные дуги, а не надвигалась на них. Это обусловило встречную (относительно Карпат),

т. е. юго-западную вергентность горных цепей Загроса с послемiocеновым надвиганием их на Месопотамский прогиб и Персидский залив [27].

Из-за ограниченности размеров Аравии северное продолжение Загроса на территории Турции переходит в Южно-Анатолийский сдвиг северо-восточного простирания. На его юго-западном продолжении в Восточном Средиземноморье располагается активная континентальная окраина, которая сохранилась в Южной Турции, Эгейском бассейне и в Греции. В Критском глубоководном желобе под нее к северо-востоку продолжает субдуцироваться приафриканская часть океанической плиты Восточного Средиземноморья.

Согласно данным [26] эта океаническая плита является наиболее древней из известных (220-270 млн. лет). Поэтому, в соответствии с законом Слейтера-Сорохтина [21] она является толстой и тяжелой. Поддвигание тяжелой океанической плиты, в соответствии с моделью А.И. Шеменды [24], должно приводить к возникновению раздвига в тылу зоны субдукции и миграции самой зоны навстречу поддвигаемой плите. Раздвиг обуславливается подъемом мантийного астенолита и его латеральным растеканием. Поднятие мантийного астенолита и формирование аномальной мантии установлено специализированными исследованиями в Восточной Анатолии [29]. Там методами сейсмотомографии и детального вулканологического анализа неоген-четвертичных вулканов установлено расположение астеносферы почти непосредственно под земной корой (толщина литосферной части мантии равна нулю).



Рис. 2. Современные тектонические движения Турции по сейсмологическим данным за 1990-2002 гг. [30]

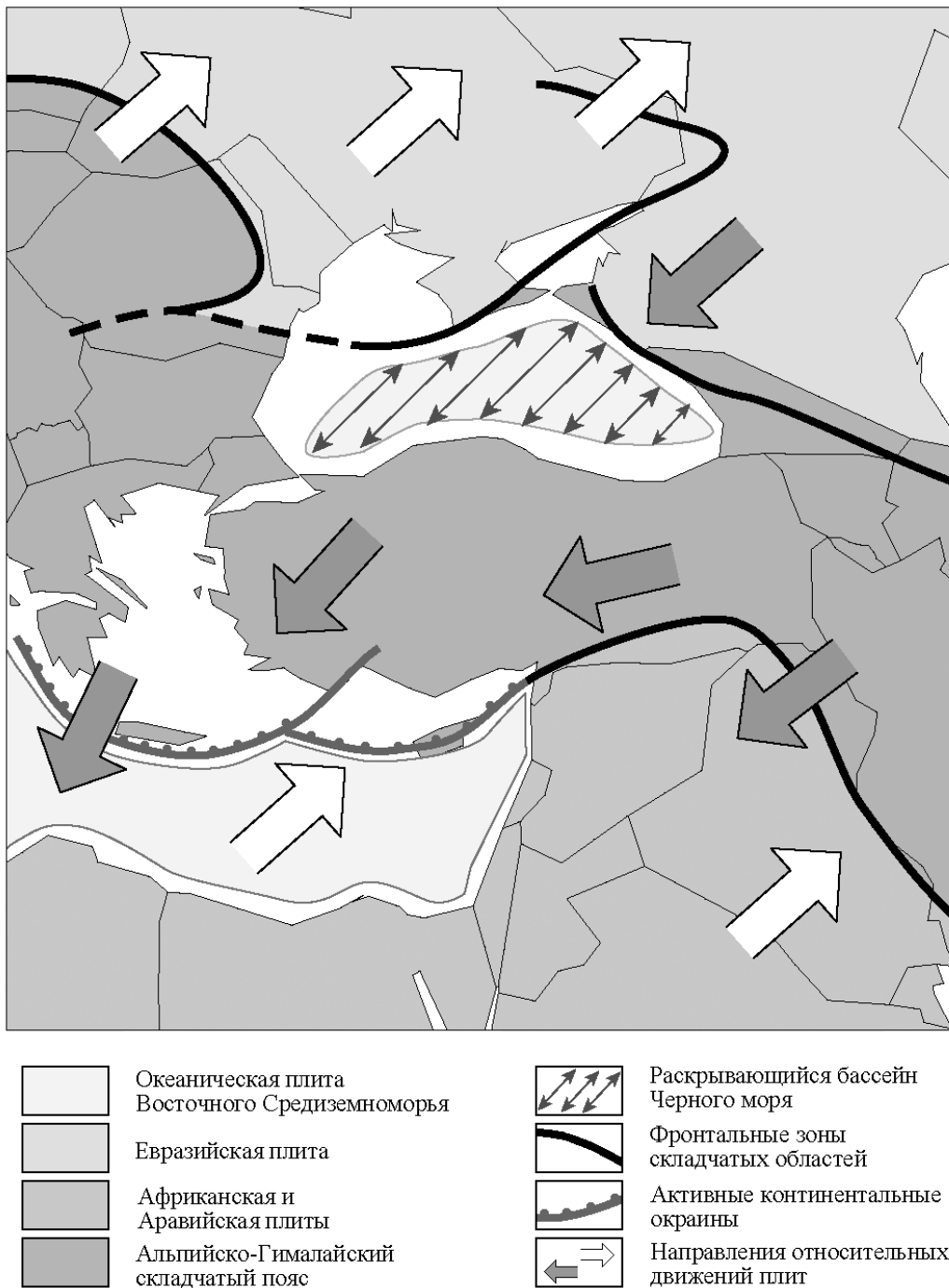


Рис. 3. Схема кинематики современных относительных тектонических движений

Вполне возможно, что благодаря именно этому механизму произошло отрифтование Малой Азии от Крыма с раскрытием Черноморской впадины как "пулл-апарт-бассейна" или спрединг-ового окраинного моря (аналог Японского). Это сопровождалось изгибанием критского сегмента активной континентальной окраины навстречу субдукции (в юго-западном направлении). Характерно, что амплитуда изгиба Критской вулканической дуги относительно греческого и турецкого побережий по величине (около 260-280 км) и направлению (на юго-запад) примерно равна амплитуде и направлению раскрытия Черноморского

бассейна. Этому механизму соответствует и северо-западная ориентировка осей раздвигов океанического ложа Черного моря близ южного побережья Крыма [22], и подобная конфигурация северо-турецкого и крымско-северокавказского берегов, и механизмы современных землетрясений Крымско-Черноморского региона [2], и противоположное направление современных тектонических движений Украины и Турции (рис. 2) [23, 30]. В рамках этой модели находят свое объяснение структурные несоответствия Западного и Центрального Крыма с Восточным Крымом и остальной Украиной. Вполне вероятно, что это - небольшая

часть Анатолии, оставшаяся на северном берегу Черного моря при отрифтовании Малой Азии.

Среднюю скорость раскрытия Черноморского бассейна можно оценить примерно от 0,5 см/год у грузинского побережья до 2-4 см/год у западно-турецкого и болгарского, что соответствует средним скоростям движений литосферных плит.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Установленные структурными методами кайнозойские движения Восточной Европы и Ближнего Востока отражают глобальные тектонические процессы - смену закрытия палеоокеана Тетис раскрытием Атлантики.

2. Эти движения в регионе сопровождались резким изменением направлений движений литосферных плит, закрытием древних окраинных морей, субдукционными и коллизионными процессами.

3. Смена направления движений литосферных плит региона привела к проявлению ларамийской и аттической складчатостей на территории Украины.

4. Характер развития ларамийских деформаций указывает на коллизию двух пространственно разобщенных микроконтинентов или энсиалических островных дуг с пассивной южной окраиной Евразии - Тисии западнее и Анатолии восточнее "Карпатского залива" (будущих Карпат).

5. Геологическое строение доэоценового фундамента Тисии и Анатолии отличается от геологического строения Украины. Следовательно, они сформировались за пределами Украины.

6. Ларамийские деформации региона образованы примерно однотипными тектоническими движениями северо-северо-западной вергентности, наложившимися на принципиально разные предшествующие структурные ситуации Южной Евразии - пассивную континентальную окраину с осадочным чехлом и кристаллическим фундаментом, палеозойские складчатые области (в частности, Донецкое складчатое сооружение), энсиалические островные дуги (микроконтиненты) и пр. Это обусловило структурное разнообразие проявлений ларамийской складчатости в Украине.

7. Ларамийские складчатые сооружения были сдвиганы к началу аттических деформаций.

8. Аттические складчатые процессы проявились на фоне резкой (почти перпендикулярной) смены направления движений литосферных плит, и потому не наследуют ларамийские структуры.

9. Новейшие (аттические) геологические структуры Украины образованы примерно однотипными тектоническими движениями северо-восточной вергентности, наложившимися на принципиально разные предшествующие структурные ситуации - причлененные к Евразии микроконтиненты, кристаллический щит, ларамийские складчатые области, флишевый прогиб и пр. Отсюда их структурное и вещественное разнообразие.

10. Коллизия полуострова (бывшего микроконтинента) Тисии с закрытием "Карпатского залива" (окраинного моря) с более восточной окраиной Евразии привела к возникновению Карпатского горно-складчатого сооружения. На остальной территории Украины эта коллизия породила ряд возвышенностей, разделенных крупными речными долинами.

11. Аттические движения в Крыму устанавливаются структурными методами как направленные *вдоль* южного берега Крыма. Некоторые современные землетрясения (по [2]) продолжают эту тенденцию.

12. Южнее Украины (в Турции) направление современных тектонических движений меняется на противоположное.

13. Это, видимо, связано с субдукцией в Критском глубоководном желобе древней и тяжелой океанической плиты Восточного Средиземноморья, а также "выдавливающим" действием Аравийской плиты на юго-восточную Анатолию.

14. Результатом такого сочетания движений регионов является раскрытие Черноморской впадины по механизму "пулл-апарта" или спредингового окраинного моря при отрифтовании Малой Азии (Анатолии) от Евразии. Современная (преимущественно сбросовая) сейсмичность это подтверждает.

15. При раскрытии Черноморской впадины часть Анатолийского микроконтинента, ранее (в палеоцене) причленившегося к Евразии, осталась на ее северном борту. Эти фрагменты обнажаются в Центральном и Западном Крыму.

16. Предположения о рифтогенезе палеоценового возраста в Черноморском регионе противоречат установленному развитию ларамийской (послемаастрихтской-доэоценовой) складчатости Украины с юга на север на 500-800 км от того места, которое сейчас занимает Черноморская впадина. Следовательно, начало раскрытия Черного моря более позднее, чем региональная ларамийская коллизия, поскольку рифтогенез складчатости не порождает.

Выводы подсказывают и направления дальнейших исследований. Коллизионная сутура Анатолии и южной окраины Евразии нуждается

в просліджуванні по території Северного Криму і Азовського моря под кайнозойским чехлом. Для перевірки моделі отрифтования Малої Азії можна провести детальне порівняння геологічного будови Центрального і Західного Криму з будовою провінцій Синоп, Кастамону, Зонгулдак Северної Турції.

логічного будови Центрального і Західного Криму з будовою провінцій Синоп, Кастамону, Зонгулдак Северної Турції.

Литература

1. Геологічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.Я. Великанова – Держ. геол. служба України. – 2007.
2. Гинтов, О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О. Б. Гинтов – Киев : Феникс, 2005. – 572 с.
3. Горайнов, С. В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С. В. Горайнов // Доповіди НАНУ. – 1999. – № 8. – С. 106–111.
4. Горайнов, С.В. Кайнозойские тектонические движения Украины / Горайнов С.В. // Вестн. Харьк. нац. ун-та. Геология – География – Экология. – 2003. – № 604 – С. 9–13.
5. Горайнов, С. В. О ларамийском усложнении геологических структур Украины / С. В. Горайнов – Доповіди НАНУ, 2004. – № 12. – 114-121 с.
6. Горайнов, С. В. Кинематика кайнозойских тектонических движений юга Украины / С. В. Горайнов // Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Тезисы докладов на 8-й Международной конференции "Крым-2009" (14-18 сентября 2009, г. Ялта) – С. 39-42.
7. Горайнов, С. В. Метаморфические и метасоматические комплексы Среднего Побужья / С. В. Горайнов, Д. В. Денисенко, О. А. Дивицкий ; под ред. С. В. Горайнова. – Харьков : Экограф, 2003. – 168 с.
8. Метаморфические и метасоматические комплексы Кировоградского блока Украинского щита / С. В. Горайнов, В. Н. Бухтатый, Д. С. Горайнов и др. ; под ред. С.В. Горайнова. – Харьков : Экограф, 2004. – 174 с.
9. Горайнов, С. В. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса / С. В. Горайнов, В. В. Коренев, С. В. Аксенов ; под ред. С.В. Горайнова. – Харьков : Экограф, 2009. – 304 с.
10. Горайнов, С. В. Перекрестно-надвиговая структура зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита / С. В. Горайнов, В. В. Коренев // Геологія та нафтогеологія України: матеріали IV науково-виробничої наради геологів-зіомістиків України (8-12 жовтня 2007 р., м. Кривий Ріг) – Дніпропетровськ, 2007. – С. 102-104.
11. Горайнов, С. В. Возможные варианты закрытия окраинных морей в эволюции орогенов новогвинейского типа / С. В. Горайнов // Геоинформатика. – 2010. – № 4.
12. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші L-36-XXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь) / С. В. Білецький, Б. П. Чайковський – КП "Південкогеоцентр". – 2006.
13. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші M-34-XVII (Рава-Руська), M-35-XIII (Червоноград) / А. А. Плотников – ДП "Західукргеологія". – 2004.
14. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші M-34-XXIII (Пшемисль), M-34-XXIV (Дрогобич) / Л. С. Герасімов, С. В. Чалий, І. І. Герасімова – ДП "Західукргеологія". – 2003.
15. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші M-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Самумаре) / Б. В. Мацьків, Ю. В. Ковальов, Б. П. Пукач – ДП "Західукргеологія". – 2003.
16. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші M-35-XIX (Львів) / Л. С. Герасімов, С. В. Чалий, І. І. Герасімова – ДП "Західукргеологія". – 2004.
17. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші M-35-XXXII (Чернівці), L-35-II (Кимпунг-Молдовенеск) / В. О. Ващенко – ДП "Західукргеологія". – 2003.
18. Картамы. – Режим доступа : www/URL:/http://tektokont.ru/220/
19. Лимонов, А. Ф. Тектоника Восточного Средиземноморья в неоген-четвертичное время : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук : 04.00.04 / А. Ф. Лимонов. – М., 1999.
20. Лобковский, Л. И. Современные проблемы геотектоники и геодинамики / Л. И. Лобковский, А. М. Никишин, В. Е Хаин. – М. : Научный мир, 2004 – 612 с.
21. Сорохтин, О. Г. Глобальная эволюция Земли / О. Г. Сорохтин. – М : Наука, 1974. – 184 с.
22. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. С. С. Круглова, Д. С. Гурського – Держ. геол. служба України. – 2007.
23. Третьяк, К. Р. Результат визначення сучасних горизонтальних деформацій на території Центральної Європи / К. Р. Третьяк, О. В. Сервант // Вісник геодезії та картографії, 2002. – №2. – С. 13-19.
24. Шеменда, А. И. Моделирование механизма раскрытия некоторых типов краевых морей / А.И. Шеменда // Океанология, 1985. – Т. 25, Вып. 2. – С. 265-273.
25. Юдин, В. В. Геодинамика Крыма / В. В. Юдин. – Симферополь : ДИАИПИ, 2011. – 336 с.
26. Age of Oceanic Lithosphere (m. y.) / R.D. Muller, M. Sdrolias, C. Gaina, W.R. Roest. – Режим доступа : [www/URL: http://www.ngde.noaa.gov/mgg/](http://www.ngde.noaa.gov/mgg/)
27. Geology of Iraq / Edited by Saad Z. Jassim, Jeremy C. Goff – Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, – 2006. – 345 p.

28. Karnkowski, P. H. *Computer-aided modelling for exploration in the Polish Basin* / P. H. Karnkowski // *Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти. Праці 6-ої Міжнародної конференції (Київ, 21-23 березня 2007 р.)*. – Київ : ІГН НАНУ, 2007.
29. Keskin M. *Domal uplift and volcanism in a collision zone without of mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia*. – Режим доступу : \www/ URL: <http://www.MantlePlumes.org>. - 2005. - 38 p.
30. *Turkey earthquakes*. – Режим доступу : \www/ URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/turkey>.

UDC 551.248.2[(4-11)+(5-14)]

Sergey Goryainov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology of V. N. Karazin Kharkiv National University, Leading Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, Gimnaziyna naberejna, 20, Kharkiv, 61010, Ukraine,
e-mail: gorjainov@mail.ru

ON POSITION OF THE BLACK SEA REGION IN GENERAL SCHEME OF CENOZOIC TECTONIC MOVEMENT IN EASTERN EUROPE AND THE MIDDLE EAST

Purpose. To clarify a structural position of Cenozoic Black Sea basin in the overall scheme of geodynamics of Ukraine, Eastern Europe and the Middle East.

Methodology. Within these regions structural relations between geological complexes (stratified and unstratified) and the analysis of change were identified. Modern geodynamic models and data of present-day seismology tectonic movements in the region were additionally used. The results are presented in the form of paleotectonic schemes.

Findings. Cenozoic movement in Eastern Europe and the Middle East reflects the global tectonic processes. The closure of the paleo-ocean Tethys occurred in these regions by collision between the southern passive margin of the East European and microcontinents Tisia and Anatolia, approaching their northern active margins in a north-western direction. This is evidenced by the spatial distribution of paleoarc volcanics, melange zones and the degree of pre-Eocene sedimentary formation folding in Europe. As a result of collisional processes in the Paleocene there formed a vast area of Laramy folding in Europe. The northern border of this folding area on the territory of Ukraine and Poland has been established. Its shape shows the progress of fold deformations from south to north from the two microcontinents-indentors.

Due to separation of Tisia from Anatolia a large marine gulf (future Carpathians) was formed between them on the southern edge of Eastern Europe, devoid of Laramy deformations and filled by Paleogene flysch from the north-east and south-west sides. In the Miocene general direction of tectonic movement in Europe has changed to the north-east, associated with opening of the Atlantic. It formed the attic orogenic structure of the Carpathians and complicated structure in other regions of Ukraine. At the same time closure of the Eastern Mediterranean basin continued with the subduction of the heavy oceanic plate under the Cretan-Hellenic continental edge. This led to Anatolia rifting from the southern margin of Eurasia in opposite southwest direction. As result, the Black Sea basin opened as a back-arc spreading sea between the oppositely moving plates.

Implications. Good agreement between the structural and geological observations with seismic data, regional geological material and global models are shown.

Keywords: geodynamics, modern tectonic, Eastern Europe, West-eastern Asia, Black Sea region.

Reference

1. *Geological map of Ukraine*. (2007). Scale 1:1000000. Ed. by V. Ya. Velikanov. State geological service of Ukraine.
2. Gintov, O. B. (2005). *Field Tectonophysics and its application in the study of deformations of the earth's crust of Ukraine*. Kiev: Feniks, 572.
3. Goryainov, S. V. (1999). *Alpine-complication of the geological structure in different regions of Ukraine. The Reports of the NASU*, 8, 106-111.
4. Goryainov, S. V., (2003). *Cenozoic tectonic movement in Ukraine. Bulletin of V.N.Karazin Kharkiv National University. Geology – geography – ecology*, 604, 9-13.
5. Goryainov, S. V. (2004). *Laramy complexity of the geological structures of Ukraine. The Reports of the NASU*, 12, 114-121.
6. Goryainov, S. V. (2009). *Kinematics of the Cenozoic tectonic movements in the South of Ukraine. Azov - Black sea landfill of studies of geodynamics and fluid dynamics of formation of oil and gas fields. Abstracts of 8-th International conference "Crimea-2009" (September 14-18, 2009, Yalta)*, 39-42.

7. Goryainov, S. V., Denisenko, D. V., Diwicki, O. A. (2003). *Metamorphic and metasomatic complexes of the Middle Bug*. Kharkov: Ekograf, 168.
8. Goryainov, S. V., Korenev, V. V., Aksenov, S. V., Altukhov, A. A., Vorob'ev, V. S., Isaeva, E. P. (2009). *Metamorphic and metasomatic complexes of the Azov region and the South Donbass*. Kharkov: Ekograf, 304.
9. Goryainov, S. V., Korenev, V. V. (2007). *Cross-thrust structure of the zone of junction of Donbas with Pryazovskyi block of Ukrainian shield. Geology and geological mapping and the study of Precambrian formations of the Ukrainian shield. Proceedings of the IV scientific-production meeting geologists of Ukraine (8-12 Oct 2007, Krivoy Rog)*. Dnipropetrovsk, 102-104.
10. Goryainov, S. V. (2010). *Possible options for the closure of marginal seas in the evolution of orogens, the New Guinea type*. *Geoinformatics*, 4.
11. Goryainov, S. V. (2013). *Cenozoic tectonic movements in Eastern Europe. Geology and mineral resources of the World Ocean*, 3, 55-65.
12. *State geological map of Ukraine. (2006). Scale 1:200000. Sheets L-36-XXVIII (Evpatoria), L-36-XXXIV (Sevastopol) / Beletsky, V. S., Tchaikovsky B. P. KP "Pivdenekogeocenter"*.
13. *State geological map of Ukraine. (2004). Scale 1:200000. Sheets M-34-XVII (Rava-Russka), M-35-XIII (Chervonograd) / Plotnikov, A. A. DP "Zahidukrgeologia"*.
14. *State geological map of Ukraine. (2003). Scale 1:200000. Sheets M-34-XXIII (Pshemisl), M-34-XXIV (Drogobych) / Gerasimov, L. S., Chaly, S. V., Gerasimova, I. I. DP "Zahidukrgeologia"*.
15. *State geological map of Ukraine. (2003). Scale 1:200000. Sheets M-34-XXXV (Uzhgorod), L-34-V (Satu Mare) / Matskiv, B. V., Kovalev, Y. V., Pukach, B. P. DP "Zahidukrgeologia"*.
16. *State geological map of Ukraine. (2004). Scale 1:200000. Sheet M-35-XIX (Lviv) / Rasimov, L. S., Chaly, S. V., Gerasimova, I. I. DP "Zahidukrgeologia"*.
17. *State geological map of Ukraine. (2003). Scale 1:200000. Sheet M-35-XXXII (Chernivtsi), L-35-II (Campulung - Moldovenesc) / Vashchenko, V. A. DP "Zahidukrgeologia"*.
18. *Carpathians*. Available at : <http://tektokont.ru/220/>
19. Limonov, A. F. (1999). *Tectonics of the Eastern Mediterranean Neogene-Quaternary: abstract of thesis of doctor of geological-mineralogical sciences: 04.00.04. Moscow*.
20. Lobkovsky, L. I., Nikishin, A. M., Khain, V. E. (2004). *Modern problems of geotectonics and geodynamics*. Moscow: Scientific world, 612.
21. Sorohtin, O. G. (1974). *Global evolution of the Earth*. Moscow: Nauka, 184.
22. *Tectonic map of Ukraine. (2007). Scale 1:1000000. Ed. by S. S. Kruglov, D. S. Gursky. State geological service of Ukraine*.
23. Tretyak, K. G. (2002). *The result of the determination of present-day horizontal deformation across Central Europe*. *Bulletin of surveying and mapping*, 2, 13-19.
24. Shemenda, A. I. (1985). *Modeling of the mechanism of some types of regional seas*. *Oceanology*, 25 (2), 265-273.
25. Yudin, V. V. (2011). *Geodynamics of the Crimea*. Simferopol: DIPI, 336.
26. *Age of Oceanic Lithosphere (m. y.) / R.D. Muller, M. Sdrolias, C. Gaina, W.R. Roest*. Available at : <http://www.ngde.noaa.gov/mgg/>
27. Edited by Saad, Z. Jassim, Jeremy, C. Goff. Dolin. (2006). *Geology of Iraq*. Prague and Moravian Museum, Brno, 345.
28. Karnkowski, P. H. (2007). *Computer-aided modelling for exploration in the Polish Basin. Geoinformatics: theoretical and applied aspects. The proceedings of the 6th International conference (Kyiv, 21-23 March 2007)*. Kyiv: Institute of geological Sciences NASU.
29. Keskin, M. *Domal uplift and volcanism in a collision zone without of mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia*. Available at : <http://www.MantlePlumes.org>. 2005. 38 p.
30. *Turkey earthquakes*. Available at : <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/turkey>.

УДК 556.314:553.982(477.83)

Неля Геннадіївна Кучманич,

к. геогр. н., доцент кафедри екології та географії,
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
вул. Т. Шевченка 23, м. Дрогобич, Львівська область, 82100,
e-mail: nelya_1411@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-8118-1469>;

Ірина Володимирівна Бриндзя,

к. біол. н., викладач кафедри екології та географії,
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,
e-mail: ira_3107@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2873-7712>;

Геннадій Васильович Щемельов,

к. хім. н., зав. лабораторії, Бориславський науково-дослідний інститут “Синтез”,
e-mail: genshchemel@gmail.com

ПЛАСТОВІ ВОДИ БОРИСЛАВСЬКОГО НАФТОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ЯК ДЖЕРЕЛО ЙОДУ ТА БРОМУ

Описано цікаві історичні факти використання йоду та бромю. Розглянуто важливість йоду для життя та господарської діяльності людини на сьогоднішній день. Проведено критичний аналіз опрацьованої літератури з проблеми дослідження та обґрунтовано необхідність здійснення подальших дослідницьких розвідок. Проаналізовано результати проб пластових вод нафтових родовищ Прикарпаття 1954–1983 років. За результатами аналізу вибрані проби з вмістом йоду від 50 мг/л. Перед поверненням супутніх пластових вод у надра пропонується вилучати з них цінну сировину – йод, який міститься в пластових водах Бориславського нафтогазового родовища в концентраціях від 40 до 150 мг/л. Запропоновано методи його вилучення. Побудована карта ямненського піщаного горизонту в Скибовій зоні Карпат. Розраховано обсяги пластової води ямненського горизонту Орів-Уличнянського родовища та розкрито потенціал вилучення з нього йоду. Обґрунтовано доцільність видобування йоду з пластових вод Бориславського нафтогазового родовища. А для великого промислового видобутку запропоновано використовувати і пластову воду ямненського горизонту Орів-Уличнянського родовища. Результати досліджень можуть бути враховані для розробки рекомендацій щодо видобування йоду з пластових вод багатьох родовищ Прикарпаття.

Ключові слова: Бориславське нафтогазове родовище, супутні пластові води, йод, бром, свердловина, ямненський горизонт, Орів-Уличнянське родовище, надра.

Н. Г. Кучманич, И. В. Бриндзя, Г. В. Щемелев. ПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ БОРИСЛАВСКОГО НЕФТЕПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА КАК ИСТОЧНИК ЙОДА И БРОМА. *Описаны интересные факты использования йода и брома. Рассмотрены важность йода для жизни и хозяйственной деятельности человека на сегодняшний день. Проведен критический анализ разработанной научной литературы по проблеме исследования и обоснована необходимость осуществления дальнейших исследовательских изысканий. Проанализированы результаты проб пластовых вод нефтяных месторождений Прикарпатья 1954–1983 годов. По результатам анализа выбраны пробы с содержанием йода от 50 мг/л. Перед возвращением сопутствующих пластовых вод в недра предлагается изымать из них ценное сырье - йод, содержащийся в пластовых водах Бориславского нефтегазового месторождения в концентрациях от 40 до 150 мг /л. Предложены методы его извлечения. Построенная карта ямненского песчаного горизонта в Скибовой зоне Карпат. Рассчитаны объемы пластовой воды ямненского горизонта Оров-Уличнянского месторождения и раскрыт потенциал извлечения из него йода. Обоснована целесообразность добычи йода из пластовых вод Бориславского нефтегазового месторождения. А для большой промышленной добычи предложено использовать и пластовую воду ямненского горизонта Оров-Уличнянского месторождения. Результаты исследований могут быть учтены для разработки рекомендаций по добыче йода из пластовых вод многих месторождений Прикарпатья.*

Ключевые слова: Бориславское нефтегазовое месторождение, сопутствующие пластовые воды, йод, бром, скважина, ямненский горизонт, Оров-Уличнянское месторождение, недра.

Постановка проблеми. З розвитком технічного прогресу, в середині XIX ст., на Прикарпатті видобуток нафти набув бурхливого розвитку. В результаті довгої експлуатації, нафтові поклади значно обводнилились. Тому основний об'єм видобутку складають супутні пластові води.

Зважаючи на значні об'єми видобутку супутніх пластових вод на Бориславському нафтогазовому родовищі та їх високу мінералізацію, питання їх утилізації є актуальним.

Розвиток сучасної науки дозволяє розглядати питання видобутку та утилізації супутніх пластових високомінералізованих вод не тільки як джерело потенційної небезпеки для певного регіону, а як потенційний ресурс з метою видобутку цін-

них компонентів та відповідного підвищення потенціалу регіону та країни в цілому. Із цих вод можна видобувати йод, бром та інші корисні компоненти.

Супутні пластові води нафтогазових родовищ вилучаються з надр разом з вуглеводнями (нафтою та газом). Вилучена з надр вода є складною природною сумішшю, яка складається з власне конденсаційної води, що формується за рахунок природної вологості нафти і газу; води з водонасиченої частини продуктивного розрізу, а також контурних і підшовних вод, які підпирають поклад і надходять у нафтоносний розріз із зниженням тиску. При цьому вони не виконують ніякої технологічної ролі.

Супутні пластові води Бориславського нафтогазового родовища не піддаються очищенню економічно прийнятними способами і є екологічно небезпечними у разі їхнього складування на поверхні. Тому вони повертаються у надра для підтримання пластового тиску [1]. Однак різними геогенними та техногенними шляхами ці води можуть потрапляти у поверхневі, підземні води і ґрунтовий покрив, створюючи загрозу забруднення.

Водночас вони є цінною гідромінеральною сировиною, зокрема характеризуються промисловим вмістом йоду. Відповідно до ст. 37 Закону України «Про нафту і газ» надрокористувачі повинні забезпечити використання супутніх корисних копалин [6]. Проте така цінна сировина поки що не знайшла практичного застосування у господарській діяльності і сьогодні безповоротно втрачається.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Науковцями Київського національного університету імені Тараса Шевченка проаналізовано проблему видобування супутньо-пластових вод на нафтових та газових родовищах з точки зору їх впливу на навколишнє середовище та екологічну безпеку, а також можливості використання вод як сировини для видобутку корисних компонентів; визначено основні напрямки, за якими відбувається забруднення водоносних горизонтів, відкритих водойм та ґрунтів пластовими водами, що видобуваються разом із нафтою або газом; досліджено основні хімічні компоненти та сполуки, розчинені у супутньо-пластовій воді, за рахунок яких і виникає забруднення. Проаналізовано екологічні проблеми, що були спричинені скиданням, просочуванням, зберіганням пластових вод як у світовому досвіді, так і у вітчизняному. Наведено приклади забруднення пластовими водами, які пройшли попередню очистку перед скиданням. Відповідно до цих прикладів встановлено, що для промислової нафтогазової геології України питання забруднення навколишнього природного середовища є актуальним для Східного нафтогазового регіону (Дніпрово-Донецька западина) [19].

Запропоновано проводити моніторинг щодо визначення більшої кількості хімічних елементів та речовин, які містяться в пластовій воді, на початкових стадіях розробки та безпосередньо в процесі експлуатації. Це, в свою чергу, спростить вибір методу з оперативної локалізації забруднення, якщо таке буде, а також вибір методів очистки супутньо-видобутої води. Відомості про вміст таких компонентів, як Br , V , I , Li та інших, у цій воді дає змогу розглядати її як сировину для їх видобутку [19].

Науковцями Українського науково-дослідного інституту природних газів досліджено перетворення йодид-іонів супутньо-пластових вод вітчизняних газоконденсатних родовищ в йод озонованим повітрям. Проведені дослідження свідчать про те, що газоконденсатні родовища є не тільки джерелом для видобування вуглеводнів, але й можуть стати джерелом одержання йоду та інших корисних речовин, що може збільшити рентабельність технології газовидобувних процесів, особливо на завершальній стадії розробки родовищ, а можливо – і після вичерпання вуглеводневої сировини та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище [14].

Науковцями Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» досліджено зменшення концентрації іонів заліза (II) при одержанні йоду з супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ України озонуванням, оцінено ступінь перетворення заліза (II) в залізо (III), встановлено, що при озонуванні суміші іонів Fe^{2+} з іонами J^- на залежності ступеня утворення йоду від співвідношенні $\frac{\text{Fe}^{2+}}{\text{J}}$ спостерігається максимум, до досягнення якого переважно в реакцію вступають іони йоду, що вказує на можливість вилучення йоду з супутніх пластових вод, озонування прискорює процес перетворення іонів заліза (II) в іони заліза (III), які коагулюючи випадають у осад разом з завислими речовинами, що покращує процес підготовки супутньо-пластових вод до повернення та впливає на екологічну безпеку [15].

Питанням отримання йодо-бромної продукції з супутніх пластових вод Бориславського нафтового родовища займалися віддавна, від початку 90-х років ХХ сторіччя. За пропозицією керівника Бориславського філіалу інституту «Укрдипроднафта» Клімова Г. С. ініціативна група працівників НГВУ «Бориславнафтогаз» та вказаного інституту збрала і вивчила хімічні аналізи пластової води з сотень свердловин. Було встановлено, що пластові води глибоких нафтових горизонтів, як правило, містять промислові концентрації вмісту йоду. Можливість створення підприємства з видобування йоду на базі пластових вод Бориславського нафтопромислового району у м. Бориславі неодноразово була предметом зустрічі з владою міста та потенційними інвесторами.

Проблема вилучення йоду з пластових вод розглянута в працях російських, азербайджанських, американських та японських вчених [1, 3, 5, 12, 20]. Результати досліджень висвітлюють основні методи та напрями модернізації виробництва йоду, броміду і їхніх сполук з пластових вод

родовищ. Видобуток йоду в світовій практиці проводиться на базі наступної сировини: пластові води, води супутні нафтовидобутку, морські водорості (Китай), води з виробництва селітри (Чилі).

В Україні виробництво йоду на даний час відсутнє і його видобуток з пластових вод нафтових родовищ Прикарпаття є гостро актуальним.

Основною метою роботи було проаналізувати доцільність вилучення йоду з пластових вод Бориславського нафтопромислового району.

Виклад основного матеріалу дослідження. Йод має велике значення для життя та господарської діяльності людини. Його застосовують в медицині у вигляді йодної настойки (5 і 10 % розчину у спирті) чи розчину Ліголю (водний розчин йоду, що містить йодистий калій), у вигляді солей органічних сполук (йодоформ, йодност, сайодин, сегрозин, йодол і ін.). Також йод використовується під час синтезу органічних барвників, одержанні титану, виготовленні деяких металів високої чистоти. 70 – 75 % йоду переробляють у йодисті солі, які застосовуються (крім медицини) у лабораторній практиці, сільському господарстві та для йодування кухонної солі.

Середня річна норма споживання кухонної солі на одну людину складає 8–10 кг. Вміст вільного йоду в йодованій солі всіх сортів складає 19 г на 1 т солі. Річна потреба України в йоді для йодування кухонної солі складає 10–15 т, потреби медичної промисловості – 20 т, для інших галузей розвинутого господарства України – 30 т.

Історичні паралелі. Задовго до відкриття хімічного елемента йод, йодовміщуючі морські продукти використовували для лікування в різних країнах. Пліній Старший в “Естественной истории” згадує про використання попелу губки, що згоріла, для лікування внутрішніх хвороб. Цим попелом посипали рани. Змішуючи попіл з молоком, готували лікувальний напій, який давали пити хворому три рази на день. Лікувальна дія губки отримала пояснення набагато пізніше. Виявилось, що у ній високий відсоток йоду [2].

В Європі на лікувальні властивості морських водоростей при зобі вказує Гіппократ. Однак такі ж рекомендації прозвучали задовго до цього в Китайському кодексі, написаному в 1567 році до н. е. Цікаво, що ці проблеми хвилювали не лише лікарів. Наполеон, вибираючи солдат для своєї армії, оглядав їхню шию. Особливо тих, хто виріс у гірських місцевостях, де часто зустрічаються зобні хворі.

Йод – це мікроелемент, без якого життя неможливе. Основне джерело йоду на планеті – морські води, що містять в 1 л приблизно 50 мкг йоду. Перший дослідник корисних властивостей

йоду Жозеф Луї Гей-Люсак назвав його “Йоей-дес”, що з грецького – “фіалковий”, і йод зайняв одне з перших місць серед фармакопейних препаратів.

Після того, як в Німеччині та Франції йод запропонували використовувати в лікуванні зобу і він виявився дієвим при деяких станах, його стали використовувати при всіх патологічних процесах. Проти цього рішуче виступили багато клініцистів, які спостерігали, як під впливом лікування йодом в необґрунтовано високих дозах розвивались важкі функціональні розлади. А йодобромні води ще довгий час вважались умовно-специфічними в силу незначного, з точки зору фармакології і фармакодинаміки, вмісту в них активних елементів – йоду і бром.

В 1820 році лікар із Женеви Жан Франсуа Конде навів докази залежності між низьким вмістом йоду у питтєвій воді і зобом. Однак в той час вважали, що хворобу можуть викликати 42 причини – нестача йоду в цьому переліку не фігурувала. В 1896 році Бауман виявив значну кількість йоду в тканині щитоподібної залози і встановив, що цей специфічний мікроелемент концентрується в цьому органі. Теорію йододефіциту підтвердила ефективність йодної профілактики, що розпочалась в 1920 році в Альпах, і поширилась у всьому світі [2].

Препарати бром застосовуються в медицині більше 140 років. Висловлювання І. Павлова про те, що “людство повинно бути щасливе, що розпоряджається таким дорогоцінним для нервової системи препаратом, як бром” не втратило свого значення і сьогодні.

Використання бромідів натрію і калію, відомих в той час під загальною назвою “бром”, в якості седативного (заспокійливого) і протисудомного засобу, при лікуванні епілепсії, розпочалось в 1857 році. Про ефективність цього засобу свідчать романи класичної літератури XIX століття, герої яких приймали бром для “заспокоєння нервів”, а також роботи сучасних фізиків із Національного університету Мексики. Вони виявили на полотнах Ван Гога розподіл яскравості, що відповідає математичному опису турбулентного потоку. На думку мексиканських фізиків Ван Гог володів унікальною можливістю бачити і відображати турбулентність, і це відбувалось з ним саме в моменти психічного розладу. Однак у художника є картини, де сліди турбулентності непомітні. Їх Ван Гог писав, знаходячись під впливом препаратів бром в стані, як він сам характеризував “повного спокою”.

Протягом довгого часу механізм дії препаратів бром залишався невідомим. Вважалось, що броміди зменшують збудливість, діючи аналогічно снодійним препаратам. Лише в 1910 році один

із учнів І. Павлова – П. Нікіфоровський експериментально показав, що броміди посилюють процеси гальмування в центральній нервовій системі. Дію броду на центральну нервову систему пов'язують з його здатністю витіснити хлор і накопичуватися в ліпідній частині мембран клітин головного мозку [2].

Небагато відомо і про метаболізм та фізіологічну дію броду. Встановлено, що бром здійснює вплив на залози внутрішньої секреції – щитовидну залозу, гіпофіз, наднирники. Він є також “конкурентом” йоду, пригнічуючи його захоплення щитовидною залозою. Крім того, виявлено, що броміди пригнічують основний обмін, знижують рівень цукру крові, володіють антикоагулянтними властивостями.

На сьогоднішній день показаннями для застосування йодобромних вод є: захворювання органів кровообігу, хвороби нервової системи, гінекологічні захворювання, захворювання молочної залози, кістково-м'язової системи, органів травлення, нирок, стоматологічні захворювання.

Не дивлячись на те, що люди давно використовували заспокійливі та лікувальні властивості йодобромних вод, більша частина курортів, побудована на джерелах йодобромних вод, з'явилась на карті світу в епоху технічного прогресу, коли розпочалась інтенсивна розвідка нафти.

Було проаналізовано 1689 проб пластових вод Бориславського нафтопромислового району 1954 – 1983 років. У пластових водах Прикар-

патського регіону концентрація йоду сягає 40 – 150 мг/л. За результатами аналізу вибрані проби з вмістом йоду від 50 мг/л і встановлено наступне:

П'ятдесят чотири проби води з вмістом йоду 50 мг/л і більше належать свердловинам і об'єктам Бориславського нафтового родовища, 13 – до об'єктів нафтових родовищ Внутрішньої зони Передкарпатського прогину, решта 31 – до об'єктів газових родовищ Зовнішньої зони. До Бориславського нафтогазового родовища належать 10 проб води з аномально високим вмістом йоду з покладів Піднасуву, 3 проби – з менілітового покладу Помірки, що розташований у зоні курортного округу Трускавець; більшість свердловин Глибинної складки з високим вмістом йоду в пластовій воді знаходяться у східній частині, на Тустановецькій ділянці;

Питома вага вод газових родовищ, як правило, низька – від 1,006 до 1,089 г/см³, а вод Бориславського та Орів-Уличанського родовищ – висока, від 1,074 до 1,23 г/см³. Проте між вмістом йоду та питомою вагою води, а відтак і її мінералізацією, не виявлено ніякої кореляційної залежності.

Існує до десяти технологічних способів вилучення йоду з пластових вод [1, 5, 12, 20]. Найбільш прогресивними є два методи:

- повітряний метод, при якому після відповідної обробки хімічними реагентами йод видувається з води за допомогою повітря, а потім поглинається оксидом сірки (рис. 1);

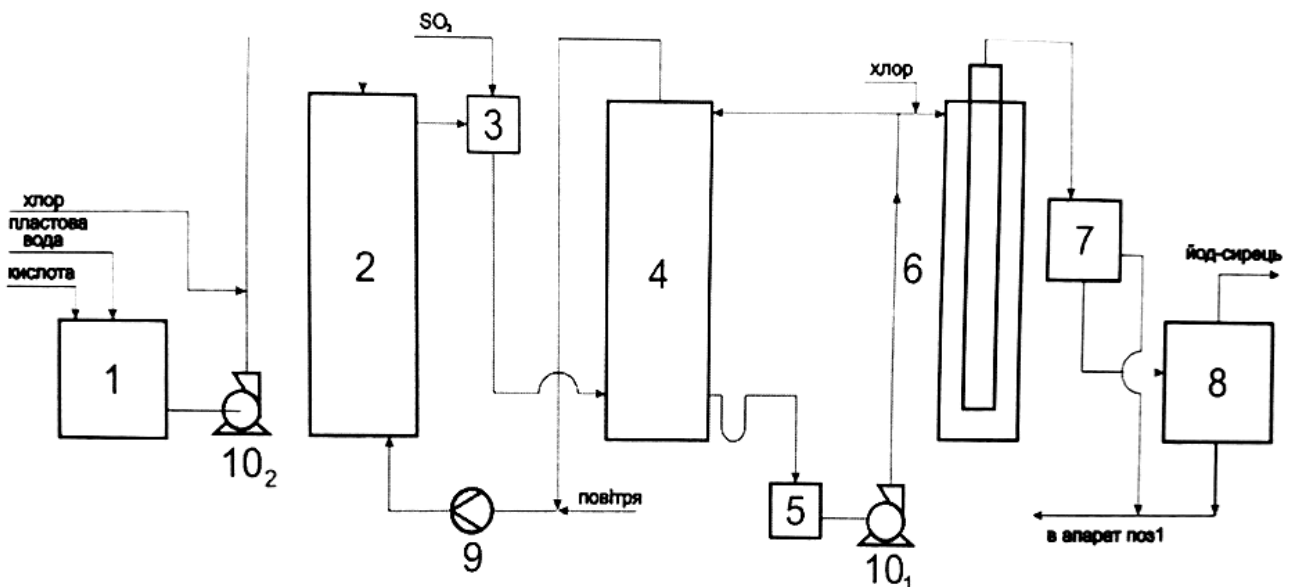


Рис. 1. Схема десорбції йоду повітрям:

- | | | |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 – змішувач; | 5 – бачок-приймач; | 9 – компресор; |
| 2 – десорбер; | 6 – кристалізатор; | 10 ₁₋₂ – насоси |
| 3 – газозмішувач; | 7 – відстійник; | |
| 4 – кислотний абсорбер; | 8 – центрифуга; | |

- іонообмінний метод, при якому оброблена хімічна вода проходить через шар іонообмінної смоли, а потім з насиченої йодом смоли вилучається за допомогою розчину лугу (рис. 2).

Води, що добувається супутньо з нафтою НГВУ “Бориславнафтогаз”, досить для одержання близько 1 тонни йоду на рік (за 2017 рік підприємство видобуло 121961,23 м³ пластової води). Тому, в разі організації більш потужного виробництва, потрібно:

- використовувати законсервовані обводнені свердловини з відповідним введенням їх в експлуатацію;

- або бурити нові свердловини і розробляти водоносні горизонти родовищ.

Прикладом такого родовища є йодо-бромне родовище мінералізованої води у Сколівському районі Львівської області, виділене за високим вмістом йоду і бром у пластових водах. В тектонічному відношенні воно знаходиться у складці Берегової скиби і приурочене до вигодських та ямненських відкладів. У плані родовище займає південно-західну частину Орів-Уличнянського нафтового родовища.

За даними буріння шістдесят однієї свердловини, пробуреної на нижчезалягаючий нафтоносний нижньоменелітовий горизонт I-го ярусу структур, побудована карта ямненського піщаного горизонту в Скибовій зоні Карпат, площа якого в межах тектонічного блоку складає 33 км² (рис. 3). Глибина залягання горизонту – від 700 до 1700 м. Товщина горизонту – від 85 до 150 м.

Горизонт ямненських відкладів високонасичений. Під час випробування ямненських відкладів в інтервалі 1270–1327 м, у свердловині № 23 одержано приплив мінералізованої води з потенційним дебітом 1750 м³/добу, а з вигодських відкладів в інтервалі 1087–1073 м – приплив води з потенційним дебітом 872 м³/добу і т. д.

Для підрахунку обсягу пластової води ямненського горизонту використовується об’ємний метод підрахунку запасів [17]. Об’ємний метод підрахунку запасів – це метод підрахунку запасів нафти, води, або газу, що базується на вивченні геометричних умов їх залягання.

Для нафтових і газонафтових родовищ при підрахунку запасів пластової води об’ємним методом використовують такі параметри: площу водонасиченого горизонту, товщину горизонту, коефіцієнт відкритої пористості.

Найкраще колекторські властивості ямненських відкладів вивчені на Старосамбірському родовищі. Тому, за аналогією, для підрахунку запасів пластової води ямненського горизонту Орів-Уличнянського родовища приймаємо величину відкритої пористості – 12 %.

При загальній товщині ямненського горизонту Старосамбірського родовища до 120 м, його середня ефективна товщина (Державна комісія запасів) – 60 м. Ця величина може бути прийнята і для Орів-Уличнянського родовища. Отже, обсяг пластової води ямненського горизонту родовища складатиме:

$$33000000 \text{ м}^3 \times 60 \times 0,12 = 237600000 \text{ м}^3.$$

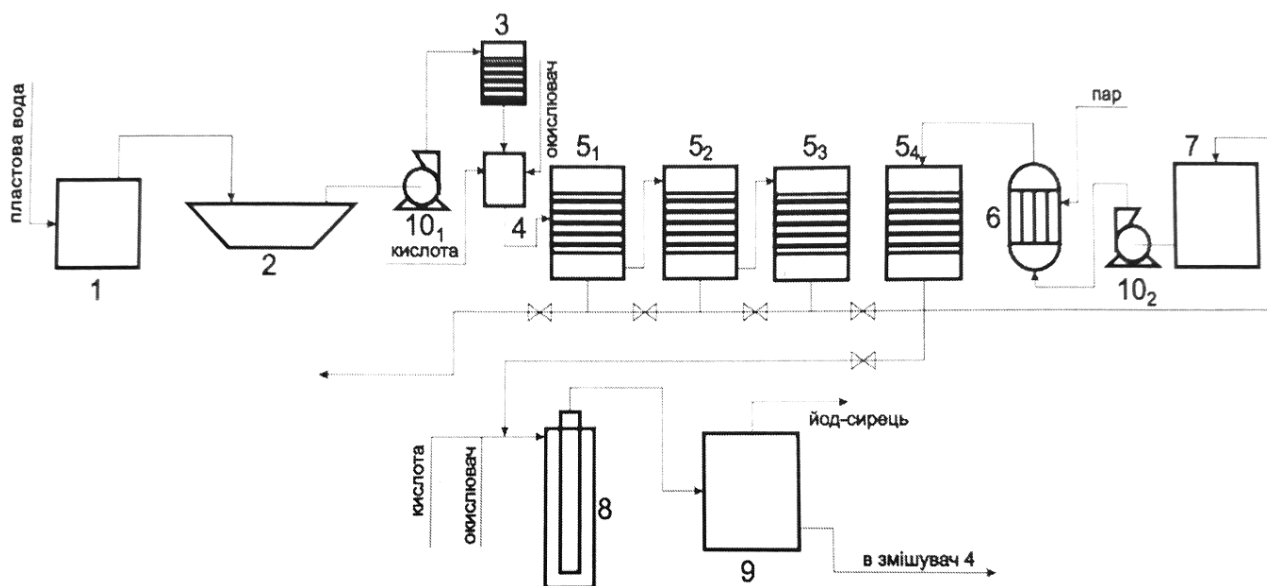


Рис. 2. Схема вилучення йоду за допомогою іонообмінних смол:

- | | | |
|------------------------|--|----------------------------|
| 1 – нафтова ловушка; | 5 ₁₋₄ – адсорбери; | 9 – центрифуга; |
| 2 – басейн-відстійник; | 6 – теплообмінник; | 10 ₁₋₂ – насоси |
| 3 – піщаний фільтр; | 7 – ємність для розчину сульфату натрію; | |
| 4 – змішувач; | 8 – кристалізатор; | |

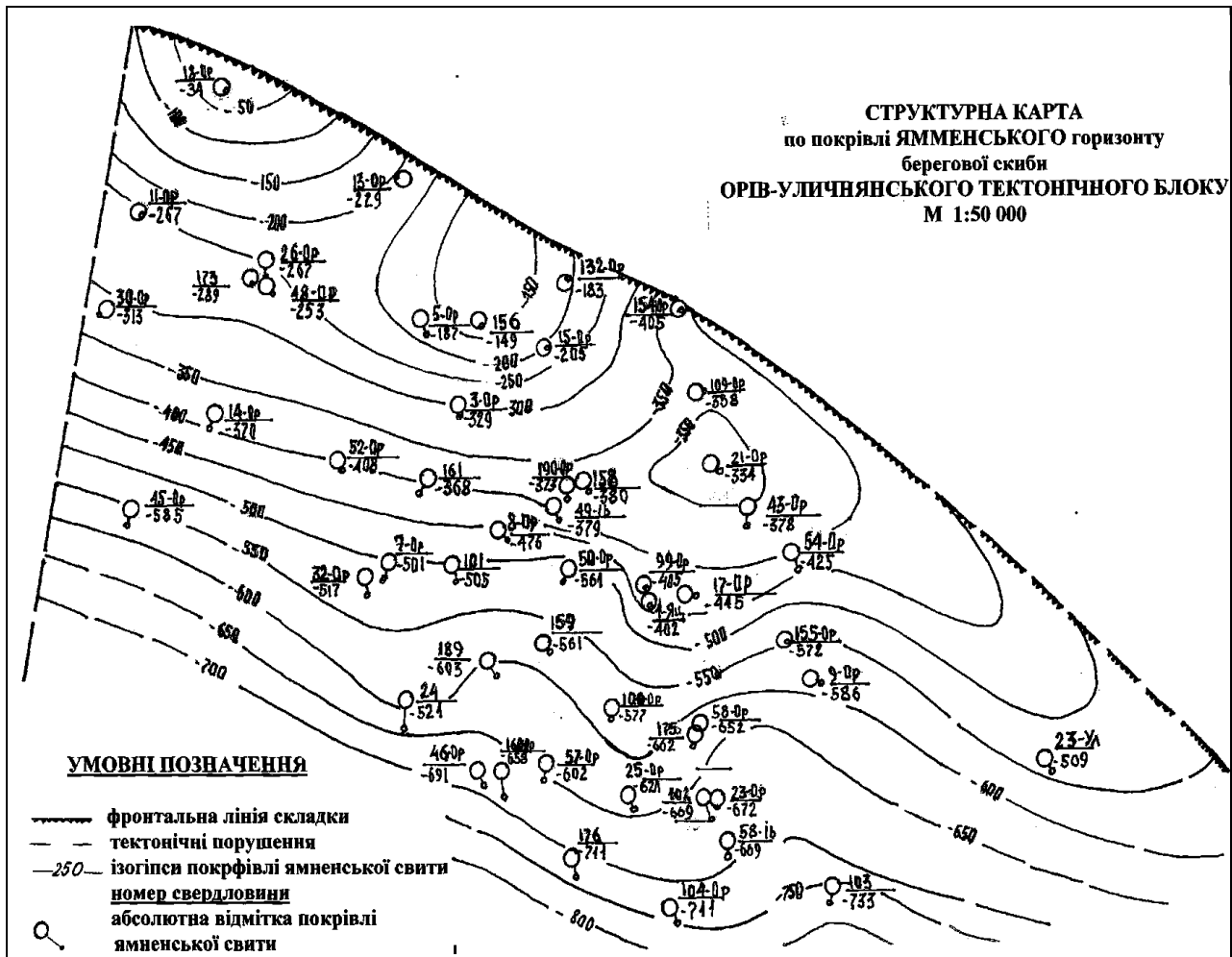


Рис. 3. Структурна карта по покрівлі ямненського горизонту берегової скиби Орів-Уличнянського тектонічного блоку

За попередніми даними (негерметизований відбір проб води, довготривале зберігання проб до аналізу тощо) вміст йоду у воді родовища складає від 15 до 50 мг/л, при середній – 30 мг/л. Запаси йоду становитимуть:

$$237600000 \text{ м}^3 \times 30 \frac{\text{мг}}{\text{л}} = 7128 \text{ т};$$

Вміст брому – від 250 до 450 мг/л, при середній – 350 мг/л. Тоді запаси брому становитимуть:

$$237600000 \text{ м}^3 \times 350 \frac{\text{мг}}{\text{л}} = 83160 \text{ т}$$

Висновки. Отже, враховуючи складну геологічну будову родовища, значну вертикальну і горизонтальну порушеність продуктивних і перекриваючих їх відкладів, густу сітку пробурених свердловин, зношеність обладнання в старих свердловинах, значну величину залишкових запасів нафти (при початкових балансових запасах 112, 8 млн. т на сьогоднішній день видобуто 32,6 млн. т) – наслідки експлуатації родовища будуть довготривалими. А нафтові поклади все більш обводненими.

Глибинні пластові води родовищ Бориславського нафтопромислового району, зокрема

Бориславського нафтогазового родовища, є перспективною сировиною для рентабельного видобутку йоду, який може здійснюватись трьома напрямками: 1) використання наявних вод супутніх нафтовидобутку; 2) використання законсервованих та відновлення ліквідованих обводнених свердловин нафтових покладів; 3) буріння нових свердловин на водоносні горизонти.

Для наступних досліджень рекомендовано:

- систематизація даних вмісту йоду і бром у пластових водах Бориславського нафтогазового району;
- визначення потреб та споживачів йоду;
- створення аналітичної групи та хімічної лабораторії для аналізу пластових вод;
- проведення хімічних аналізів пластових вод в перспективних нафтопромислових районах;
- обробка геологічного матеріалу з метою визначення промислових покладів пластової води;
- підрахунок геологічних запасів;
- подальше вивчення технологічного процесу та оптимального вибору обладнання.

Література

1. А. с. 1244087 СССР, МКИ С 01 В 7/14. Способы выделения йода из растворов / Ю. А. Таран и др. (СССР). – № 3815334/23-26 ; заявл. 23.11.84 ; опубл. 5.03.86, Бюл. № 26.
2. Антоняк, Г. Л. Біохімічна та геохімічна роль йоду : [монографія] / Г. Л. Антоняк, В. В. Влізло. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 392 с. – (Серія "Біологічні Студії"). (історичні паралелі).
3. Будзиновская, Т. К. Тенденции развития йодобромной промышленности / Т. К. Будзиновская., В. П. Гордиенко // Химические технологии и инжиниринг производств неорганических соединений йода, брома и марганца. – 1989. – № 7. – С. 3–5.
4. Глушко, В. В. Тектоника и нефтегазоносность Карпат и прилегающих прогибов / Глушко В. В. – М. : Недра, 1968. – С. 226.
5. Дубик, Н. А. Исследование десорбции и абсорбции йода при извлечении его из буровых вод / Н. А. Дубик, А. Ф. Махайким., Л. Г. Голубев // Массообменные процессы и аппараты химической технологии. – 1979. – № 6. – С. 17–19.
6. Закон України про нафту і газ : за станом на 24 лип. 2010 р. / Верховна Рада України. – Офіц. Вид. – К. : Парлам. вид.-во, 2010.
7. Закон України про охорону навколишнього природного середовища : за станом на 19 бер. 2009 р. / Верховна Рада України. – Офіц. Вид. – К. : Парлам. вид.-во, 2009.
8. Іванов, Є. А. Ландшафти гірничопромислових територій / Є. А. Іванов. – Л. : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 1997. – С. 334.
9. Клімова, Н. Г. Історія розвитку Бориславського нафтогазового родовища та екологічні наслідки його експлуатації / Н. Г. Клімова // Історія української географії : Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – 2004. – Вип. 10. – С. 63–68.
10. Кодекс України про надра : за станом на 27 квіт. 2010 р. / Верховна Рада України. – Офіц. Вид. – К. : Парлам. вид.-во, 2010.
11. Колодій, В. В. Екологічна безпека експлуатації нафтогазових родовищ / В. В. Колодій, О. А. Приходько, П. Г. Дризулич // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Проблеми економії енергії. – 1999 – № 2. – С. 328–330.
12. Ксензенко, В. И. Ионообменные способы извлечения йода / В. И. Ксензенко., Н. И. Торчигина // Технология неорганических веществ и минеральных удобрений : 14 всем. науч.-техн. конф., 25–27 нояб. 1988 г. : тезисы докл. – Л., 1988. – С. 43.
13. Кучманіч, Н. Г. Екологічний стан нафтовидобувних районів західного Передкарпаття: оцінка та обґрунтування природоохоронних заходів (за матеріалами Бориславського родовища): дис. ...кандидата географічних наук : Н.00.11 / Кучманіч Неля Геннадіївна. – Львів, 2012. – 217 с.
14. Мельник, А. П. Про підвищення екологічної безпеки повернення супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ / А. П. Мельник, Н. М. Німець, М. О. Подустов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 18(1240). – С. 73–79.
15. Мельник, А. П. Щодо використання супутньо-пластових вод газоконденсатних родовищ / А. П. Мельник, С. В. Кривуля, Н. М. Німець // Екологія. Український науково-дослідний інститут природних газів. – 2013. – № 4. – С. 31–39.
16. Природа Львівської області : [за ред. К. І. Геренчука]. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 1972. – 150 с.
17. Про затвердження Інструкції про зміст, оформлення та порядок подання в ДКЗ України матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ нафти і газу : N 853/4146. – Офіц. вид. – К. : Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ України) при Комітеті України з питань геології та використання надр, 1999. – 74 с. – (Нормативний документ Державна комісія України по запасах корисних копалин. Інструкція).
18. Тердовидов, А. С. Состояние обезвреживания и утилизации попутных промысловых вод газовых и газоконденсатных месторождений УССР / А. С. Тердовидов, М. Я. Малыхин, В. Т. Баршшполец // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов : информ. для руководителя / А. С. Тердовидов, М. Я. Малыхин, В. Т. Баршшполец. – К. : УкрНИИИТИ, 1986. – 47 с.
19. Чомко, Д. Супутньо-пластова вода нафтових родовищ як гідромінеральна сировина / Д. Чомко, М. Рева, О. Диняк // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія. – 2016. – Вип. 4. – С. 77–80.
20. Электрохимический способ выделения йода из буровых вод через йодаты / А. Л. Щабанов., Р. А. Расулбекова., О. С. Мухин [та ін.] // Азербайджанский химический журнал. – 1983. – № 3. – С. 143–146.

Nelia Kuchmanysh,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Geography,
Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University,
T. Shevchenko st., 23, Drohobych, Lviv region, 82100, Ukraine,
e-mail: nelya_1411@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-8118-1469>;

Irina Bryndzia,

PhD (Biology), lecturer, Department of Ecology and Geography,
Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University,
e-mail: ira_3107@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2873-7712>;

Hennadii Shchemeliyov,

PhD (Chemistry), Head of Laboratory, Borislav Scientific Research Institute "Synthes",
e-mail: genshchemel@gmail.com

RESERVOIR WATER OF BORYSLAV OILFIELD AS A SOURCE OF IODINE AND BROMINE

Formulation of the problem. Associated reservoir water is valuable hydro-mineral raw material. Its practical use in economic activity has not been found, and is now irretrievably lost by returning to the corresponding geological horizons to maintain reservoir pressure.

The purpose of the article. The purpose of this work is to analyze the expediency of extracting iodine from the reservoir waters of Borislav oilfield.

Methods. To do this, various scientific methods were used, namely: observation, description; analysis - during studying the results of reservoir water samples from the deposits of Precarpathian; synthesis - for the allocation of wells and objects with industrial iodine content in samples of reservoir water within Borislav oilfield; mathematical methods - a volumetric method to calculate reservoir water.

Results. Results of reservoir water samples from the Precarpathian region deposits were analyzed in the article. It is highlighted that fifty-four samples of water with iodine content of 50 mg/l and more belong to wells and Borislav oilfield, 13 belong to objects of oil deposits in the Inner zone of the Carpathian forge, the remaining 31 belong to the gas fields within Exterior Zone. For the first time, volumes of reservoir water from the Yamnian horizon of the Oriv-Ulychne deposit and its reserves of iodine and bromine were calculated. According to preliminary estimates, iodine reserves amount to 7,128 tons, bromine reserves amount to 8,311 tons. Based on these calculations, it is proposed to use also iodine-bromine mineralized mineral water in the forge zone of the Carpathians for the large industrial production of iodine based on Borislav oilfield.

Scientific novelty and practical significance. The research results were used by Borislav Town Council to prepare an investment project "Establishment of an Iodine Production Plant based on the reservoir waters of Borislav Oilfield in the town of Borislav, Lviv Oblast", which can be implemented at the expense of the state fund of regional development.

Keywords: Borislav oil and gas field, associated reservoir water, iodine, well, Yamnian horizon, Oriv-Ulychne deposit.

References

1. Antonyak, G. L., Vlizlo, V. V. (2013). *Biochemical and geochemical role of iodine*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 392.
2. Budzinovskaya, T. K., Gordienko, V. P. (1989). *Trends in the development of iodide-bromine industry. Chemical technologies and engineering of iodine, bromine and manganese inorganic compounds*, 7, 3–5.
3. Chomko, D., Reva, M., Dynyak, O. (2016). *Contributing-formation water of oil fields as hydro-mineral raw material. Bulletin of Taras Shevchenko National Taras University of Kyiv. Series Geology*, 4, 77–80.
4. *Code of Ukraine on mineral resources as of April 27, 2010. (2010). Verkhovna Rada of Ukraine. Kyiv: Parl. publ. house.*
5. Dubik, N. A., Makhakim, A. F., Golubev, L. G. (1979). *Study of iodine desorption and absorption during its extraction from drilling waters. Mass exchange processes and equipment of chemical technology*, 6, 17–19.
6. Gerenchuk K. I. (1972). *Nature of the Lviv region*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 150.
7. Glushko, V. V. (1968). *Tectonics and oil and gas potential of the Carpathians and adjacent deflections*. Nedra, 226.
8. Ivanov, Ye. A. (1997). *Landscapes of mining areas*. Ivan Franko National University of Lviv, 334.
9. Klimova, N.G. (2004). *History of Borislav oil and gas field development and the ecological consequences of its exploitation. History of Ukrainian Geography: All-Ukrainian Scientific and Theoretical Journal*, 10, 63–68.
10. Kolodiy, V. V., Prikhodko, O. A., Drygulych, P.G. (1999). *Environmental safety of oil and gas deposits exploitation. Bulletin of "Lviv Polytechnic" State University. Problems of energy saving*, 2, 328–330.
11. Ksenzenko, V. I. Torchigina, N. I. (1988). *Ion exchange methods of iodine extraction. Technology of inorganic substances and mineral fertilizers. 14 Scientific-Techn. Conf. L.*, 43.

12. Kuchmanych, N. H. (2012). *Ecological situation of the oil-producing regions in Western Precarpathians: evaluation and substantiation of environmental measures (based on Boryslav deposit)*. Lviv, 217.
13. *Law of Ukraine on Environmental Protection as of March 19, 2009*. (2009). Verkhovna Rada of Ukraine. Kiev : Parl. publ. house.
14. *Law of Ukraine on Oil and Gas as of July 24, 2010*. (2010). Verkhovna Rada of Ukraine. Kyiv: Parl. publ. house.
15. Melnik, A. P., Krivulya, S. V., Nimets, N. M. (2013). *The use of contiguous water reservoirs of gas-condensate deposits*. *Ecology. Ukrainian Research Institute of Natural Gas*, 4, 31–39.
16. Melnyk, A. P., Nimets, N. M., Postustov, M.O. (2017). *On increasing ecological safety of the return of contiguous reservoir waters of oil and gas condensate deposits*. *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Innovative studies in students' scientific work*, 18, 73–79.
17. *On approval of the Instruction on the content, design and procedure for the submission of materials for the geological and economic assessment of oil and gas deposits in the SCMR of Ukraine*. (1999). Kyiv: State Commission of Ukraine on Mineral Resources (SCMR) under the Committee of Ukraine on Geology and Subsoil Use, 74.
18. Shchabanov, A. L., Rasulbekova, R. A., Mukhin, O. S. (1983). *Electrochemical method for the iodine extraction from drill waters through iodates*. *Azerbaijan Chemical Journal*, 3, 143–146.
19. Taran Yu. A. et al. (5.03.1986). *Author's certificate 1244087 USSR, MKH C 01 B 7/14. Methods of iodine extraction from solutions*. 3815334/23-26; declared, 23.11.84, № 26.
20. Terdovidov, A. S., Malykhin, M. Ya., Barishpolets, V. T. (1986). *The state of neutralization and utilization of associated commercial waters of gas and gas condensate fields of the Ukrainian SSR*. *Nature protection and rational use of natural resources: inform*. Chapter 47.

Сергей Фёдорович Поверенный,

ст. науч. сотрудник, Украинский научно-исследовательский институт природных газов,

Гимназическая наб., 20, г. Харьков, 61010, Украина,

e-mail: sergei-poverennyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7836-6278>;

Александр Владимирович Чуенко,

зав. лаборатории, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,

пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина,

e-mail: chuenko@hotmail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6717-4695>;

Елена Валерьевна Поддубная,

инженер, Украинский научно-исследовательский институт природных газов,

e-mail: abit201087@gmail.com,

Виктор Артёмович Соколов,

к. техн. н., доцент кафедры гидрогеологии,

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,

e-mail: hydrogeology@karazin.ua

ГАЗОВОЛЮМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД В ПРАКТИКЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

В практике исследований ёмкостно-фильтрационных свойств пород-коллекторов нефти и газа основным методом определения открытой пористости и плотности являлся метод насыщения жидкостью. Газоволлюметрический метод использовался лишь иногда либо как экспрессный, либо в каких-то специальных целях. Приборы, действующие на основе этого метода, были преимущественно самодельными, получаемые результаты были не слишком сопоставимыми. Всё это вызывало некоторое недоверие к методу. В настоящее время приборная база достаточно проработана, появилось много промышленных приборов, прошедших сертификацию, качество которых не вызывает сомнений. Важным преимуществом этих приборов является более точное определение пористости за счёт устранения погрешности недонасыщения, свойственной методу насыщения жидкостью и особенно проявляющейся на низко- и мелкопористых коллекторах, а также возможность работы с крупнопористыми, кавернозными и трещиноватыми коллекторами. Поскольку пористость является подсчётным параметром, от точности её оценки напрямую зависит точность подсчёта запасов. Широкое внедрение газоволлюметрического метода в производственную и учебную практику требует осмысления метода, сопоставления и увязки его результатов с результатами метода насыщения. Именно этому и посвящена данная работа.

Ключевые слова: ёмкость коллектора, пористость, коэффициент пористости, плотность, лабораторные определения пористости, газоволлюметрический метод, метод жидкостенасыщения.

С. Ф. Поверенний, О. В. Чуенко, О. В. Піддубна, В. А. Соколов. ГАЗОВОЛЮМЕТРИЧНИЙ МЕТОД У ПРАКТИЦІ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД. У практиці досліджень ємнісно-фільтраційних властивостей порід-колекторів нафти і газу основним методом визначення відкритої пористості і щільності був метод насичення рідиною. Газоволлюметричний метод використовувався лише іноді або як експресний, або в якихось спеціальних цілях. Прилади, діючі на основі цього методу, були переважно саморобними, отримані результати не занадто порівнянними. Усе це викликало деяку недовіру до методу. Нині приладова база досить опрацьована, з'явилось багато промислових приладів, що пройшли сертифікацію, якість яких не викликає сумнівів. Важливою перевагою цих приладів є більша точна визначення пористості за рахунок усунення погрешності недонасичення, властивої методу насичення рідиною, яка особливо проявляється на низко- і дрібнопористих колекторах, а також можливість роботи з грубопористими, кавернозними і тріщинуватими колекторами. Оскільки пористість є підрахунковим параметром, від точності її оцінки безпосередньо залежить точність підрахунку запасів. Широке впровадження газоволлюметричного методу у виробничу і учбову практику вимагає осмислення методу, зіставлення і ув'язки його результатів з результатами методу насичення. Саме цьому і присвячена ця робота.

Ключові слова: ємність колектора, пористість, коефіцієнт пористості, щільність, лабораторні визначення пористості, газоволлюметричний метод, метод рідинонасичення.

Постановка проблемы. Газоволлюметрический метод определения пористости горных пород известен довольно давно. Конструкции приборов и методики работы с ними подробно рассматривались ещё в 70-х годах прошлого столетия, например в работах [1,2,3,4], тогда же были получены авторские свидетельства на первые разновидности приборов [5,6]. Однако, несмотря на привлекательную возможность экспрессного определения пористости без применения жидкости, при одновременном определении минералогической плотности и с сохранением образца, до массового применения дело не дошло. Основным

методом определения пористости оставался метод насыщения жидкостью – керосином или моделью пластовой воды – регламентированный ГОСТ 26450.0-85 – ГОСТ 26450.1-85 [7,8]. В 90-е годы прошлого столетия на просторах СНГ широкое распространение получили газоволлюметрические поромеры «Экспресс-пор», сменившись в начале нашего столетия по популярности газоволлюметрическими пикнометрами «Поромер». На Украине следует отметить газоволлюметрическую установку ГВУ-1, созданную в ЛВ УкрДГРi [9]. Из приборов, разработанных в странах западного полушария или на их основе,

можно для примера упомянуть пикнометр «Георук 1360» определяющий объём минерального скелета образца, объём образца и пористость. Объём образца определяется на образцах правильной и неправильной формы путём помещения образца в квазизидкую среду из мельчайших полимерных сфер, которая обладает высокой текучестью и плотно обволакивает образец. Другим примером может служить гелиевый порозиметр ULTRAPORE-300, предлагаемый фирмой Core Lab Instruments, США или гелиевый порозиметр PEI-220 фирмы Coretest servise, Тюмень, Россия. Эта же фирма предлагает объединённый автоматический пермеаметр-порозиметр AP-608, позволяющий определять проницаемость при нестационарной фильтрации, объём скелета, кажущуюся минералогическую плотность и пористость образца при имитации горного давления от 500 до 9950 psi (35-700 атм) и при поровом давлении до 200 psi (14 атм). Похожий автоматический газовый пермеаметр – порозиметр LGPM 70 производит «Sanchez Technologies», Франция. Таким образом, газоволюметрический метод выдержал испытание временем и всё больше входит в производственную и учебную практику. Однако теория и практика этого метода по состоянию на настоящий момент в отечественной литературе освещена слабо, наблюдается недостаток литературных источников, посвящённых принципам работы, получаемым результатам и сопоставлению результатов газоволюметрического метода с методом насыщения, который до настоящего времени являлся основным методом определения пористости и плотности горных пород.

Цель данной работы – углубленное изучение газоволюметрического метода, сопоставление его результатов с результатами метода насыщения жидкостями, выяснение сходимости между этими методами и возможности их взаимозаменяемости в комплексе лабораторных исследований коллекторских свойств.

Анализ имеющегося методического материала. Немного о физических основах определения пористости и плотности газоволюметрическим методом. Исходя из того, что пористостью (М) называется отношение объёма пор (V_n) к объёму образца ($V_{обр}$), получим:

$$M = V_n / V_{обр} = (V_{обр} - V_{ск}) / V_{обр} = 1 - V_{ск} / V_{обр}$$

где $V_{ск}$ – объём минерального скелета образца. Так как объём минерального скелета включает возможно присутствующие закрытые поры, по этой формуле мы получаем значение открытой пористости (M_o).

Таким образом, для определения открытой пористости газоволюметрическим методом необходимо знать объём минерального скелета образца и общий объём образца. Определив эти пара-

метры и взвесив образец (Р), можно найти его объёмную ($\delta_{об}$) и кажущуюся минералогическую плотность ($\delta_{кмп}$):

$$\delta_{об} = P / V_{обр}; \delta_{кмп} = P / V_{ск}$$

Если после определения объёма минерального скелета дезинтегрировать образец и определить объём его твёрдой фазы ($V_{тв}$), не содержащей закрытых пор, можно определить величину закрытой пористости по формуле: $M_3 = (V_{ск} - V_{тв}) / V_{обр}$ и истинной минералогической плотности по формуле: $\delta_m = P / V_{тв}$. Объём твёрдой фазы дезинтегрированного образца может быть определён как с помощью газоволюметрического пикнометра, так и с помощью обычных стеклянных пикнометров по методу Мельчера. Сумма открытой и закрытой пористости даст нам величину полной пористости.

Можно выразить получаемые значения пористости не через объёмы, а через плотности [10,11]. Тогда $M_o = 1 - \delta_{об} / \delta_{кмп}$, а $M_3 = \delta_{об} / \delta_{кмп} - \delta_{об} / \delta_m$.

Приборы, определяющие только объём минерального скелета породы, называются обычно газоволюметрическими пикнометрами, определяющие и объём минерального скелета, и объём образца (то есть всё нужное для расчёта пористости), называются поромерами или порозиметрами. Поскольку после определения объёма минерального скелета пикнометром можно определить объём образца каким-то другим методом и рассчитать пористость, возникают названия типа «газоволюметрический пикнометр «Поромер»».

Определение **объёма минерального скелета породы** принципиально может быть произведено разными способами, которые реализуются приборами различной конструкции (1,2,3,12). К сожалению, не всегда имея описание или даже сам прибор, можно до конца понять принцип его действия. В былые времена производитель прибора вместе с ним предоставлял исчерпывающую информацию о его устройстве и принципе действия. Сейчас производитель снабжает приборы очень короткой инструкцией, включающей минимум сведений в основном о порядке работы с прибором, который до первого послегарантийного ремонта фактически представляет собой «чёрный ящик». Это касается и использованного в данной работе пикнометра «Поромер».

Однако, и сотрудникам лабораторий, работающим с этими приборами, и студентам, изучающим прибор на практических занятиях, необходимо как-то представлять себе принцип действия приборов данного типа. В доступной на сегодня литературе этот принцип часто не описывается вообще [12] или (в старой литературе) описывается слишком сложно на конкретных конструкциях, которых уже не существует в природе [1,3]. Самым подробным описанием, сопровождаемым

схемой прибора (рис.1), встреченным в рекламных текстах и инструкциях по эксплуатации является следующее: прибор состоит из двух соединенных между собой камер, эталонной и измерительной, оснащенных датчиками температуры и давления. Первоначально гелием заполняется эталонная камера известного объема, обозначенная на схеме (1), затем, при открытии соединительного клапана, газ перемещается в измери-

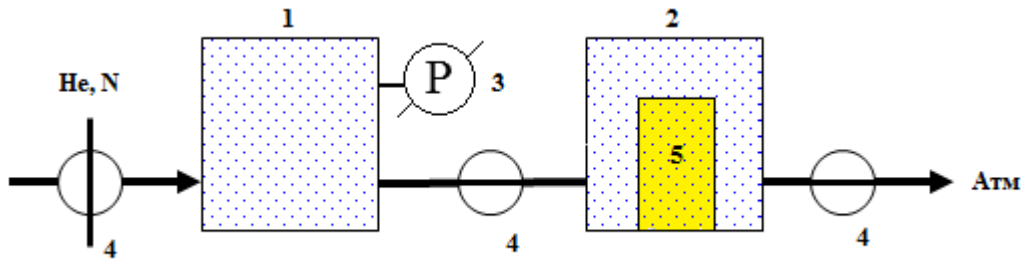


Рис. 1. Схема газового пикнометра-порозиметра;

1 - форкамера (называют также предварительной, эталонной, матричной), 2 - измерительная камера, 3 - манометр, 4 - запорные вентили, 5 - образец

Максимальные давления в камерах обычно невелики – 1-2 атм, в некоторых приборах [9] – до 10 атм. В основу расчётов в одних случаях кладут уравнение Клапейрона – Менделеева [4], в других – объединённый закон газового состояния с учётом коэффициента сжимаемости газа [9], в третьих – закон Бойля – Мариотта [12]. Нам представляется, что два первых случая приводят к излишнему усложнению описания и расчётов без существенного увеличения достоверности определения. Например, упоминаемый в работе [9] коэффициент сжимаемости газов практически равен 1 даже для давлений до 10 кгс/см², на которые рассчитана установка ГВУ-1, тем более можно им пренебречь при работе с «Порометром», где рабочее давление не превышает 2 кгс/см². Объединённый закон газового состояния учитывает влияние температуры на результат. В некоторых приборах предусмотрено термостатирование камер, в некоторых изменение температуры учитывается в ходе автоматической обработки данных. Как показывает практика, в ходе опыта текущая температура рабочей камеры понемногу растёт, что фиксируется прибором, однако значение имеет изменение температуры в пределах одного замера, а оно, как правило невелико и им можно пренебречь. Поэтому попробуем описать принцип работы газоволюметрических приборов на примере наиболее простой схемы без термостатирования (рис.2), с изменениями заимствованной из работы [9] и основываясь на законе Бойля-Мариотта.

Схема состоит из баллона с воздухом, редуктора, манифольда с четырьмя вентилями, образ-

тельную камеру известного объема, обозначенную (2), в которую помещен образец твердого материала (5), плотность которого требуется измерить. В ходе эксперимента снимаются показания датчика давления, составляются соответствующие уравнения, из которых не сложно получить объем исследуемого материала. А зная массу и объем образца, легко рассчитать его плотность.

цового манометра измерительной камеры и газометра. В качестве последнего может быть использовано газоизмерительное устройство, описанное в работе [9]. Пустая измерительная камерой V_n герметизируется, затем, при открытых вентилях 1,2,4, в ней создается начальное давление, равное P_n .

Закрыв вентиль 1 и открыв вентиль 3, мы выпускаем часть воздуха (ΔV) из камеры в газометр, давление падает (P_1). Прделанные действия дают нам возможность составить уравнение:

$$P_n \times V_n = P_1 \times (V_n + \Delta V),$$

где: P_n - начальное давление в камере;

V_n - объём камеры;

P_1 - давление в пустой камере после соединения её с газометром;

ΔV - объём, измеренный газометром.

В уравнении известными величинами являются P_n , P_1 и ΔV . Таким образом, на основе фактического замера давлений и объёма на газометре, можно определить объём измерительной камеры:

$$V_n = P_1 \times \Delta V / (P_n - P_1)$$

Определив газоволюметрически объём измерительной камеры можно приступить к измерениям на образце. Для этого предварительно просушенный при 105°C и взвешенный образец помещают в измерительную камеру теперь уже известного объёма V_n . Герметизируем камеру, открываем вентили 1,2,4 при закрытом вентиле 3, создаём начальное давление P_n . Закрываем вентиль 1, открываем вентиль 3, выпуская часть воздуха в газометр. Давление падает до P_2 . Мы можем составить следующее уравнение:

$$P_n \times (V_n - V_0) = P_2 \times (V_n - V_0 + \Delta V),$$

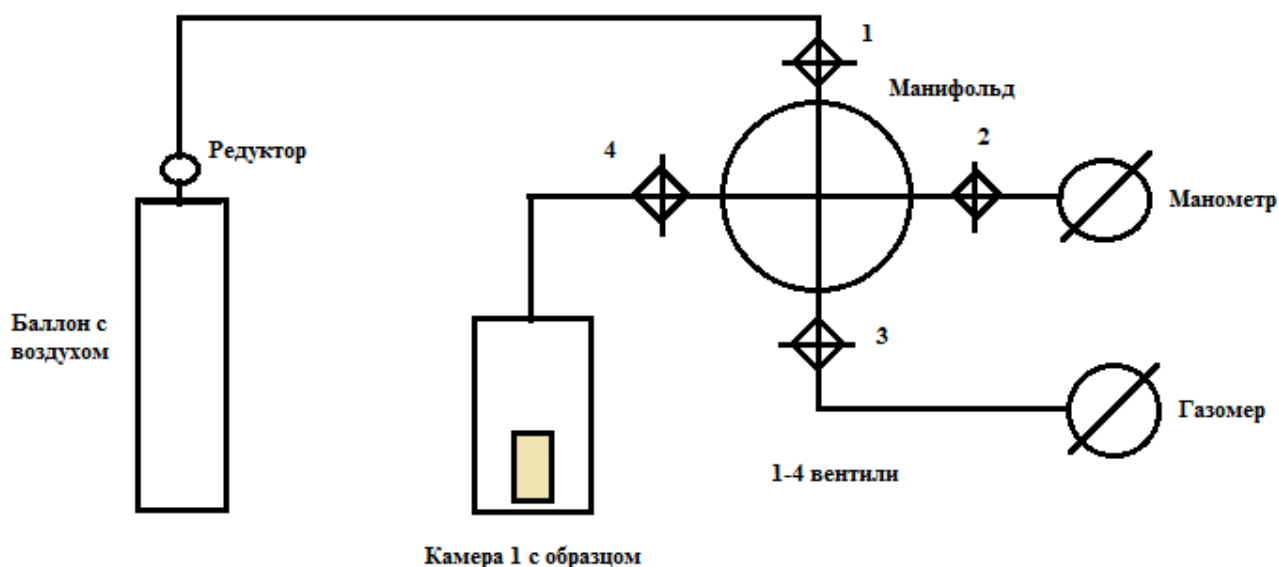


Рис.2. Принципиальная схема прибора

где V_0 – объём твёрдой фазы образца.

В этом уравнении известны все величины, кроме объёма твёрдой фазы. Решаем уравнение относительно V_0 :

$$V_0 = (P_2 \times V_n - P_n \times V_n + P_2 \times \Delta V) / (P_2 - P_n)$$

Заметим, что объём измерительной камеры может быть определён и путём прямого измерения, выполненного с достаточной точностью. Если же он определялся газоволюметрически, то после того, как объём измерительной камеры определён, можно вместо газомера подсоединять вторую камеру известного объёма, отвечающего ΔV в уравнениях и прийти к схеме, приведенной на рис 1.

Определение **внешнего объёма** образца принципиально возможно несколькими способами:

1. Вычисление по результатам обмера образца правильной геометрической формы.

2. Газоволюметрическим методом, как объём образца, покрытого газонепроницаемой оболочкой [5].

3. Методом парафинирования.

4. Расчётом по результатам гидростатического взвешивания.

5. Вытеснением образцом квазижидкости – стеклянных шариков диаметром 0,3-0,4 мм или маленьких полимерных сфер, образующих среду с высокой текучестью (DryFlo). Вытесненный объём шариков соответствует внешнему объёму образца. Принцип реализован в «Экспресс-поре», «Волнометре», «Георук 1360» и некоторых других приборах. Заявлено, что точность определения объёма при этом превышает точность замера штангенциркулем.

Расчёт по результатам гидростатического взвешивания предполагает насыщение образца жидкостью, а значит, потерю выигрыша во вре-

мени – одного из главных преимуществ газоволюметрического метода. Практически, в этом случае идёт два параллельных измерения – газоволюметрически и методом насыщения. Методом парафинирования обычно пользуются для определения объёмной плотности, но сейчас её чаще определяют из результатов взвешивания при определении пористости, и парафинирование придётся проводить специально для газоволюметрии, что довольно трудоёмко и медленно. Определение объёма образца, покрытого газонепроницаемой оболочкой требует особой конструкции прибора. Первые такие приборы появились довольно давно [5], но до настоящего времени не имеют широкого распространения. Вытеснение квазижидкости применяется сейчас довольно широко, но требует специальной, довольно сложной конструкции прибора. Самое простое – вычисление по результатам обмера образца правильной геометрической формы. Этот последний способ даёт приемлимую точность только в случае образца любой, но геометрически правильной формы (цилиндр, куб, прямоугольный параллелепипед), которая поддаётся точным измерениям и помещается по габаритам в измерительную камеру. Современные методики обработки керн построены обычно на цилиндрических образцах, получаемых при высверливании образца алмазным кольцевым сверлом с последующим торцеванием в размер параллельными отрезными дисками. Основным недостатком этого способа измерения внешнего объёма является то, что не из каждого образца можно изготовить правильный цилиндр и тогда приходится пользоваться каким-либо из других вышеупомянутых способов.

Таким образом, мы определили объём твёрдой фазы и объём образца, что достаточно для

расчёта пористости. Благодаря тому, что мы заранее взвесили образец, мы можем рассчитать значения объёмной и кажущейся минералогической плотности. В конкретных приборах это может происходить несколько по-разному, но принцип неизменен.

Изложение основного материала. Сопоставление результатов. Данная работа проведена с помощью оборудования предусмотренного ГОСТ 26450.1-85 [8] для определения пористости насыщением и газоволюметрического пикнометра «Поромер» - достаточно широко распространённого в настоящее время прибора [12]. Полученные результаты с большой долей вероятности распространяются на другие газоволюметрические приборы сходной конструкции.

Газоволюметрический пикнометр «Поромер» предназначен для определения открытой пористости и кажущейся минералогической плотности (КМП) образцов керна (иначе – плотности скелета). Газоволюметрически определяется объём минерального скелета образца, объём образца правильной цилиндрической формы определяется методом замера. Попутно, по весу и внешнему объёму рассчитывается объёмная плотность образца. Заявленная относительная погрешность измерения пористости составляет 1% [12], погрешность определения КМП не декларируется.

В качестве рабочего газа, из-за отсутствия возможности применения гелия или хотя бы азота, применялся воздух. Некоторые авторы главным преимуществом гелия считают очень малый размер молекулы [13]. Одноатомная молекула гелия имеет размер порядка 0,182 нм, двухатомная молекула азота – порядка 0,322 нм, то есть, существенно больше по размерам. Однако опыты, результаты которых приведены в работе [9], показывают отсутствие заметных расхождений между результатами по гелию и азоту. Воздух представляет собой смесь азота и кислорода, двухатомная молекула кислорода по размеру меньше молекулы азота (0,302 нм) и, следовательно, должна, как минимум, не уступать ему в проникающей способности. С другой стороны, образец имеет природное сорбционное насыщение именно воздухом. Следовательно, можно ожидать, что расхождение результатов по азоту и воздуху также будет невелико.

Отступив немного от основной темы, можно заметить, что размер молекулы воды оценивается в 0,3 нм, то есть её проникающая способность должна быть не ниже, чем у азота. С другой стороны, самый лучший керосин представляет собой сложную смесь углеводородов от C_8 до C_{16} , в составе которой участвуют 20-60% алканов, 20-50% нафтенных, 5-25 ароматических и до 2% ненасыщенных углеводородов. Критический размер ли-

нейной молекулы n-алканов для всего ряда равен 0,49 нм. Размер молекул циклической составляющей больше, его можно оценить по критическому диаметру бензола, который равен 0,66 нм. [14] Если проникающая способность зависит от размера молекулы, то у керосина она должна быть намного меньше, чем у воды. Видимо, дело не только в размере.

Первые опыты были направлены на проверку сходимости результатов в ряду равноточных определений. Прежде всего, проверка выполнялась по эталонам. Были взяты два эталона с максимально разными значениями пористости: первый – с характеристиками обр. 301-3; $L=30,12$; $d=30,1$; $P=78,0$ г; $K_p=4,9\%$ и второй – с характеристиками обр. 30-50; $L=31,0$; $d=30,53$; $P=46,0$ г; $K_p=42,48\%$. Результаты приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, относительные погрешности определения пористости, округлённые до принятой в практике точности, не превышают десятых долей процента на эталоне низкой пористости и практически равны 0 на эталоне высокой пористости, что соответствует дифференциации погрешностей ГОСТ 26450.1-85 [8]. Погрешность определения КМП ещё более низкая, выражается сотыми долями процента. В таблице 1 серым фоном выделены сомнительные результаты, которые по Q-критерию и критерию Романовского должны были бы быть удалены. Однако, поскольку материала немного, все статистические критерии на таких мелких выборках спорны и, главное, удаление не повлияло бы на конечный вывод, то сомнительные результаты для полноты картины оставили в таблице.

Следующим шагом была проверка по образцам. Были использованы три образца с низкой (№ 43203, $K_p=6,8\%$), средней (№44903, $K_p=11,8\%$) и относительно высокой (№ 43810, $K_p=19,7\%$) пористостью. Результаты приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, максимальная относительная погрешность по образцам несколько больше, чем по эталонам, связана с наименее пористым образцом и не превышает десятых долей процента. Максимальная относительная погрешность определения КМП практически та же, что на эталоне и выражается сотыми долями процента.

После проверки сходимости результатов оценили их воспроизводимость путём выполнения замеров по одному и тому же образцу в разные дни и разными исполнителями (таблица 3).

Как видно из таблицы 3, относительное расхождение несколько превышает заявленную относительную погрешность, но с запасом укладывается в допустимую погрешность, установлен-

Сходимость в ряду равноточных определений по эталонам

301-3, Кп= 4,9%				30-50, Кп=42,48			
Кп	Δабс	Δабс	Δотн	Кп	Δабс	Δабс	Δотн
4,859	-0,012	0,012	0,246	42,584	0,015	0,015	0,0352
4,847	-0,024	0,024	0,493	42,53	-0,039	0,039	0,0916
4,869	-0,002	0,002	0,041	42,578	0,009	0,009	0,0211
4,868	-0,003	0,003	0,062	42,577	0,008	0,008	0,0188
4,871	0	0	0,000	42,578	0,009	0,009	0,0211
4,91	0,039	0,039	0,801	42,569	0,0	0,0	0,0
4,871	0,0	0,0	0,3				
ВТВ	Δабс	Δабс	Δотн	ВТВ	Δабс	Δабс	Δотн
20,391	-0,17	0,17	0,827	13,03	-0,003	0,003	0,0230
20,394	-0,167	0,167	0,812	13,042	0,009	0,009	0,0691
20,389	-0,172	0,072	0,350	13,031	-0,002	0,002	0,0153
20,383	-0,178	0,178	0,866	13,031	-0,002	0,002	0,0153
20,389	-0,172	0,172	0,837	13,031	-0,002	0,002	0,0153
20,38	-0,181	0,181	0,880	13,033	0	0,00	0,03
20,561	-0,17	0,16	0,76				
КМП	Δабс	Δабс	Δотн	КМП	Δабс	Δабс	Δотн
3,825	-0,001	0,001	0,0261	3,53	0,001	0,001	0,0283
3,825	-0,001	0,001	0,0261	3,527	-0,002	0,002	0,0567
3,826	0	0	0,0000	3,53	0,001	0,001	0,0283
3,826	0	0	0,0000	3,53	0,001	0,001	0,0283
3,826	0	0	0,0000	3,53	0,001	0,001	0,0283
3,827	0,001	0,001	0,0261	3,529	0,00	0,00	0,03
3,826	0,00	0,00	0,01				

ную [8,15].

После того, как была подтверждена работоспособность прибора, было проведено сопоставление результатов, полученных при определении пористости газоволюметрическим методом и методом насыщения жидкостью по 52 образцам, с использованием методики оценки результатов лабораторного контроля, рекомендованного [15, 16] и значений допустимых отклонений, регламентированных [8,15]. При выполнении работы для расчёта абсолютных (с учётом Δабс и без учёта |Δабс| знака) и относительных (Δотн) расхождений между результатами разных методов использована методика, рекомендованная [15,16] для расчёта погрешностей при осуществлении лабораторного контроля. Расчёт выполнялся по формулам:

$$\Delta_{абс} = x_1 - x_2; |\Delta_{абс}| = |x_1 - x_2|;$$

$$\Delta_{отн} = 2|x_1 - x_2| \times 100 / x_1 + x_2$$

где x_1 – результат метода насыщения, x_2 – результат газоволюметрического метода.

Для того, чтобы контроль партии был признан позитивным, необходимо, чтобы для 75% образцов расхождения не превышали допусти-

мые, а для остальных 25% - чтобы не превышали двойной допустимой погрешности.

Сопоставление проводилось на специально подобранной партии из 52 образцов, отобранных на Шебелинском, Чкаловском, Восточно-Новосёловском, месторождениях и Южно-Граковском участке Борисовского месторождения. Образцы представлены гранулярными породами от алевролитов до крупно-среднезернистых песчаников, возраст пород от T_{1sr} до C_{1v2} , глубина отбора от 660 до 2722 м. Партия состоит из цилиндрических дублёров, ранее не подвергавшихся какой-либо лабораторной обработке. Сначала по ней определялись параметры газоволюметрически, затем методом насыщения моделью пластовой воды, затем методом насыщения керосином. В качестве модели пластовой воды (далее для краткости – воды) использован раствор NaCl с концентрацией 120 г/литр. Партия подбиралась по известным результатам параллельных образцов так, чтобы представлять возможно более широкий диапазон пористостей: от 4,3 до 31,5%. КМП по партии варьирует от 2,61 до 2,80 г/см³, объёмная плотность – от 1,87 до 2,59 г/см³.

Сходимость в ряду равноточных определений по образцам

№43203								
Кп	Δабс	 Δабс 	Δотн		Кмп	Δабс	 Δабс 	Δотн
6,8	0,037	0,037	0,55		2,737	0,001	0,001	0,03655
6,778	0,015	0,015	0,22		2,736	0	0	0
6,785	0,022	0,022	0,33		2,736	0	0	0
6,761	-0,002	0,002	0,03		2,736	0	0	0
6,691	-0,072	0,072	1,06		2,734	-0,002	0,002	0,073099
6,763	0	0,0	0,4		2,736	0,00	0,00	0,02
№43810								
Кп	Δабс	 Δабс 	Δотн		Кмп	Δабс	 Δабс 	Δотн
19,671	0,008	0,008	0,0407		2,65	0	0	0
19,621	-0,042	0,042	0,2136		2,649	-0,001	0,001	0,037736
19,641	-0,022	0,022	0,1119		2,649	-0,001	0,001	0,037736
19,657	-0,006	0,006	0,0305		2,65	0	0	0
19,724	0,061	0,061	0,3102		2,652	0,002	0,002	0,075472
19,663	0,0	0,0	0,1		2,65	0,00	0,01	0,03
№44903								
Кп	Δабс	 Δабс 	Δотн		Кмп	Δабс	 Δабс 	Δотн
11,798	-0,023	0,023	0,1946		2,65	-0,001	0,001	0,037722
11,816	-0,005	0,005	0,0423		2,651	0	0	0
11,799	-0,022	0,022	0,1861		2,65	-0,001	0,001	0,037722
11,836	0,015	0,015	0,1269		2,651	0	0	0
11,855	0,034	0,034	0,2876		2,652	0,001	0,001	0,037722
11,821	0,0	0,0	0,2		2,651	0,00	0,00	0,02

Таблиця 3

Оценка воспроизводимости результатов определения Кп и КМП

Воспроизводимость Кп							
Лаб №	Кп 1-й день	Кп 2-й день	Кп ср	Δабс	Δабс	Δотн	допуск
43203	6,763	6,591	6,68	0,17	0,17	2,5	5
43810	19,663	19,697	19,68	-0,03	0,03	0,2	2
44903	11,821	11,928	11,87	-0,11	0,11	0,9	5
				0,01	0,10	1,2	
Воспроизводимость КМП							
Лаб №	КМП 1-й день	КМП 2-й день	КМП ср	Δабс	Δабс	Δотн	допуск
43203	2,736	2,731	2,73	0,01	0,01	0,4	5
43810	2,65	2,651	2,65	0,00	0,00	0,0	2
44903	2,651	2,654	2,65	0,00	0,00	0,0	5
				0,00	0,00	0,1	

Результаты сопоставления значений **открытой пористости**, полученных обоими методами, для данной партии образцов приведены в таблице 4. Ограниченный объём статьи не позволяет приводить полные таблицы сопоставлений, но таблица 4, как наиболее важная с точки зрения

рассматриваемого параметра и нужная для демонстрации методики сопоставления, приведена полностью.

Из таблицы 4 видно, что пористость, определённая методом насыщения меньше той, что определена газоволюметрическим методом в

Сопоставление Кп насыщением водой и Кп газоволюметрически

Лаб №	Кп нас	Кп газ	Δабс	Δ абс	Кп сред	Δ отн	допуск
1	2	3	4	5	6	7	8
49944'	28,4	26,30	2,14	2,14	27,4	7,8	2
49955'	25,5	23,90	1,62	1,62	24,7	6,6	2
50022'	26,1	21,52	4,57	4,57	23,8	19,2	2
50041'	26,7	26,64	0,06	0,06	26,7	0,2	2
50045'	27,6	28,40	-0,76	0,76	28,0	2,7	2
50049'	27,5	28,38	-0,91	0,91	27,9	3,3	2
50051'	27,2	28,44	-1,23	1,23	27,8	4,4	2
50053'	29,7	30,62	-0,88	0,88	30,2	2,9	2
50056'	30,5	31,46	-1,00	1	31,0	3,2	2
50058'	27,6	27,21	0,35	0,35	27,4	1,3	2
50063'	29,7	31,85	-2,12	2,12	30,8	6,9	2
50064'	27,8	30,41	-2,57	2,57	29,1	8,8	2
50065'	27,8	31,30	-3,45	3,45	29,6	11,7	2
50069'	31,5	28,58	2,96	2,96	30,1	9,8	2
50763'	25,3	26,21	-0,89	0,89	25,8	3,5	2
50764'	24,7	27,32	-2,58	2,58	26,0	9,9	2
50766'	24,2	26,02	-1,84	1,84	25,1	7,3	2
50783'	12,3	11,83	0,43	0,43	12,0	3,6	5
51160'	9,6	13,29	-3,66	3,66	11,5	31,9	5
51161'	6,0	7,91	-1,93	1,93	6,9	27,8	5
51162'	11,6	13,25	-1,63	1,63	12,4	13,1	5
51166'	11,8	12,32	-0,48	0,48	12,1	4,0	5
51182'	10,2	14,20	-3,97	3,97	12,2	32,5	5
51243'	10,6	11,37	-0,78	0,78	11,0	7,1	5
51247'	9,4	12,02	-2,66	2,66	10,7	24,9	5
51248'	12,7	13,45	-0,80	0,8	13,1	6,1	5
51261'	6,7	7,84	-1,12	1,12	7,3	15,4	5
51262'	10,0	11,56	-1,60	1,6	10,8	14,9	5
51289'	12,3	13,67	-1,35	1,35	13,0	10,4	5
51291'	15,7	18,10	-2,37	2,37	16,9	14,0	5
51293'	7,5	9,53	-2,07	2,07	8,5	24,4	5
51393'	14,3	16,73	-2,38	2,38	15,5	15,3	2
51394'	14,1	15,80	-1,69	1,69	15,0	11,3	2
51395'	15,3	17,03	-1,73	1,73	16,2	10,7	2
51396'	18,3	21,36	-3,02	3,02	19,9	15,2	2
51397'	17,9	19,62	-1,72	1,72	18,8	9,2	2
51398'	15,6	17,35	-1,77	1,77	16,5	10,7	2
51399'	18,0	19,47	-1,49	1,49	18,7	8,0	2
51400'	17,6	19,08	-1,52	1,52	18,3	8,3	2
51404'	19,5	21,45	-1,94	1,94	20,5	9,5	2
51406'	18,6	19,91	-1,35	1,35	19,2	7,0	2
51409'	20,7	23,20	-2,50	2,5	21,9	11,4	2
51410'	20,9	22,75	-1,89	1,89	21,8	8,7	2

1	2	3	4	5	6	7	8
51411	18,1	19,35	-1,25	1,25	18,7	6,7	2
51420'	20,8	19,35	1,43	1,43	20,1	7,1	2
51421'	19,3	22,51	-3,23	3,23	20,9	15,5	2
51424'	18,5	20,54	-2,02	2,02	19,5	10,3	2
51427'	4,3	5,31	-1,05	1,05	4,8	21,9	10
51431'	5,6	6,87	-1,23	1,23	6,3	19,7	5
51433'	6,0	6,92	-0,91	0,91	6,5	14,1	5
51434'	7,0	8,87	-1,89	1,89	7,9	23,8	5
51441'	6,5	9,89	-3,40	3,4	8,2	41,5	5
Всього 52	17,9	19,2	-1,30	1,80	18,6	12,0	

Примечание: светло-серым фоном выделены значения, превышающие допуск. Более тёмным серым фоном выделены значения, превышающие допуск более чем вдвое.

среднем на 1,3 % абсолютных, при этом пределы колебания расхождений составляют от -3,97 до +4,57%. Отвечая на вопрос о сходимости методов, нужно оценить расхождения по отдельным образцам. Из 52 образцов в допустимую погрешность уложились лишь 4, т.е. по 48 образцам (92,3%) расхождения превысили допустимые, причём в 41 случае (78,8%) – более чем вдвое. Если бы это была контрольная партия, результат контроля был бы резко отрицательным. Соотношение результатов обоих методов проиллюстри-

ровано на рисунке 3. Более жирной показана линия равных значений, к которой относится коэффициент аппроксимации =1. Более тонкая прямая линия аппроксимирует фактическую зависимость. Точки, лежащие выше линии равных значений, отвечают случаям, когда K_n по газу > K_n насыщением.

Как видно из графика, основная масса точек расположена выше линии равных значений, что свидетельствует о том, что поромер показывает несколько большую пористость. В области пори-

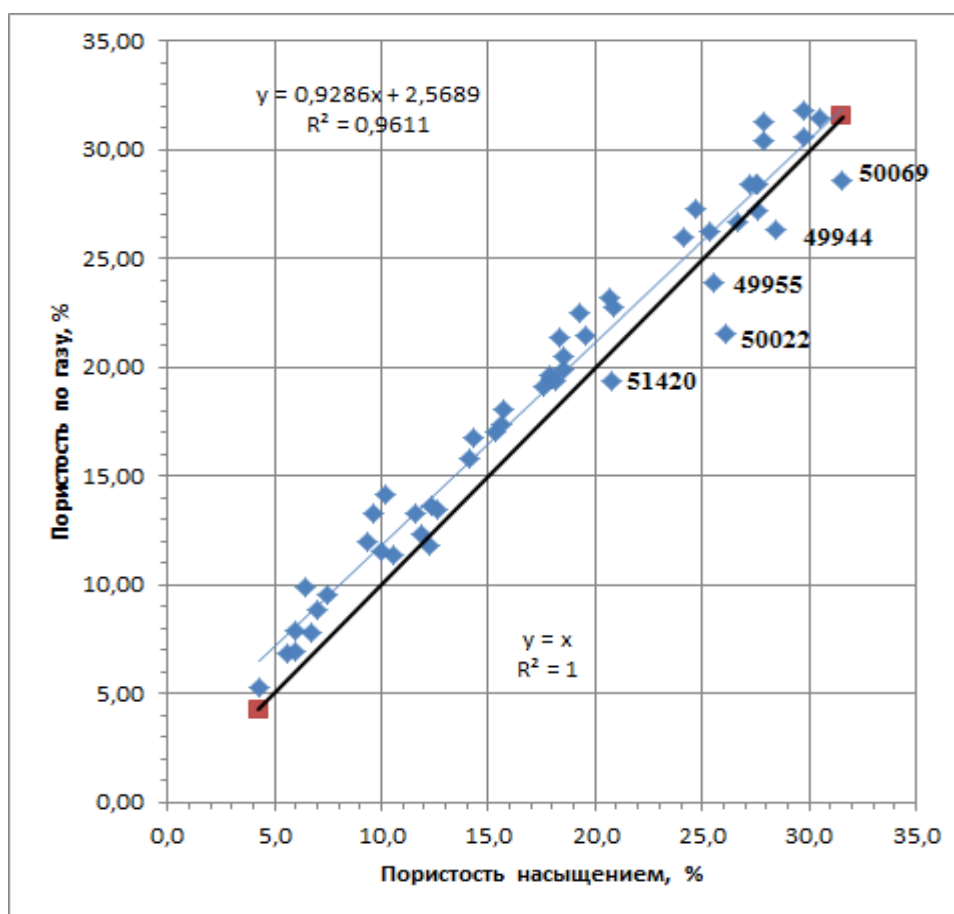


Рис. 3. Соотношение значений пористости, полученных методом насыщения и газоволуметрическим методом по одним и тем же образцам

стостей насыщением более 25% наблюдается группа образцов, имеющих пористость по насыщению большую, чем газовольюметрическая. Все эти образцы (кроме 51420) отобраны в Шебелинской скважине 901 из мезозойских отложений, залегающих в интервале 660-879 м и содержащих набухающие глинистые компоненты, что объясняет их поведение. Это объяснение не подходит для образца 51420, заведомо не содержащего набухающих компонентов.

По 21 образцу из визейских отложений скв. 35 Восточно-Новосёловского месторождения, включающим № 51420, был проведен расширенный комплекс исследований [16], включающий остаточную водонасыщенность, структуру порового пространства, эффективную проницаемость, параметр пористости, параметр насыщения и смачиваемость. Эти образцы вынесены отдельно на график рис.4. Ожидалось, что данные о смачиваемости будут особенно полезны в данном

случае. Однако, из результатов расширенного комплекса объяснить поведение образца № 5120 не удалось.

Два образца оказались гидрофобными, остальные, включая и № 51420 – гидрофильными. Вся масса гидрофильных и оба гидрофобных локализованы выше кривой равных значений, один гидрофильный ниже. Можно предположить, что дело не в отношении породы к воде. Образцы одновозрастные (С_{1v2}, горизонты В-14 и В-15), отобраны в одной скважине. в интервале 2637-2722 м, представлены средне-мелко-, мелко-, тонкозернистыми песчаниками и единичным алевритом, литология и физические свойства близки, набухающих компонентов не содержат. Никаких различий, объясняющих положение образца № 51420 ниже кривой равных значений, не найдено. Вероятной причиной является случайная погрешность определения этого образца.

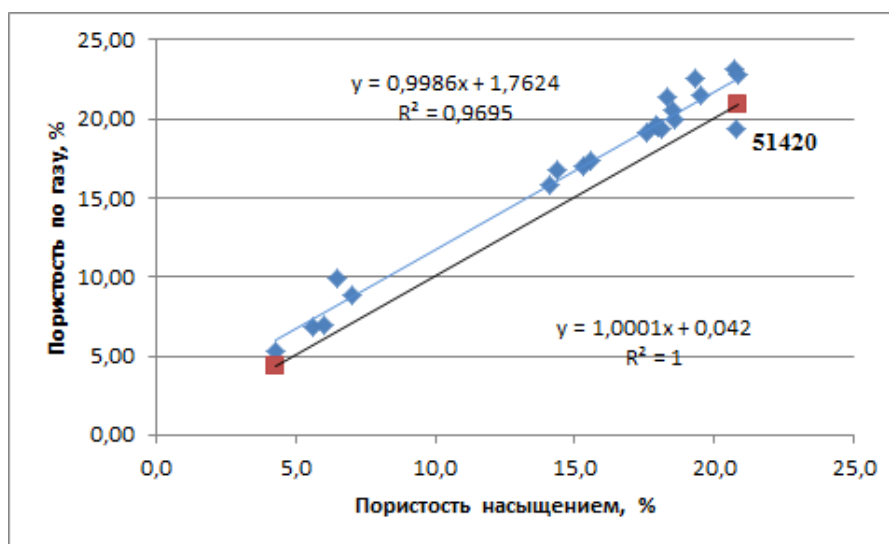


Рис. 4. Соотношение значений пористости, полученных методом насыщения и газовойоллюметрическим методом по образцам Восточно-Новосёловского месторождения

Определившись с результатом сопоставления, проанализируем распределение модулей абсолютных расхождений (рис 5). Мы видим практически симметричное распределение со следующими основными статистиками: среднее (M_c) = 1,811, медиана (M_e) = 1,708, стандартное отклонение (σ) = 0,971. Проверка (квартильный анализ, правило 3-х сигм и теорема Чебышева) показывает, что крайние значения распределения не рассматриваются как экстремальный выброс.

Из рис. 6, на котором показано распределение расхождений по диапазону пористостей образцов, можно сделать вывод, что абсолютные расхождения распределены довольно хаотично, без выраженной закономерности.

Распределение относительных расхождений, которое можно назвать асимметричным, показывает рис. 7. Основные статистики: M_c =

13,156, M_e = 10,15, σ = 10,528. Наиболее часто встречаются расхождения от 0,2 до 15,1%.

Рис. 8 показывает, что распределение относительных погрешностей по диапазону неравномерное, наибольшие относительные погрешности связаны с образцами, имеющими невысокую пористость (до 10%). С увеличением пористости образца, значения относительной погрешности имеют тенденцию к снижению.

Литературные данные по сходимости методов ограничены. Во многих источниках [17,18,20] упоминается о том, что в малопористых, тонкопористых, грубопористых и кавернозных породах пористость по газу выше пористости насыщением. В работе [13] упоминается о завышении пористости, определённой газовойоллюметрически, сравнительно с пористостью насы-

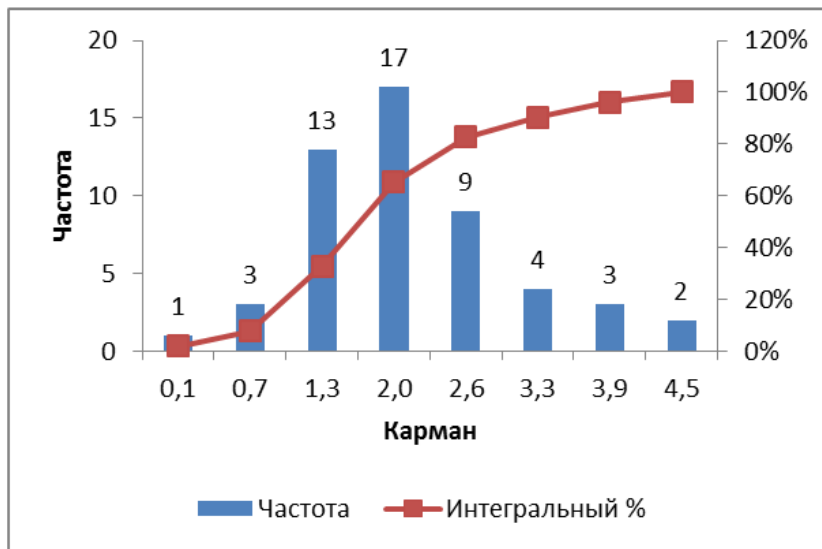


Рис. 5. Распределение модулей абсолютных расхождений по частоте.

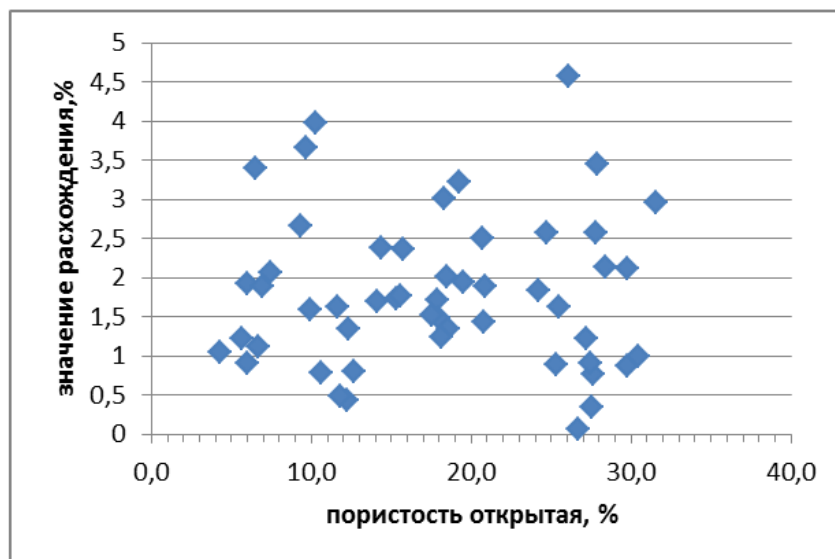


Рис. 6. Распределение модулей абсолютных расхождений по диапазону пористостей

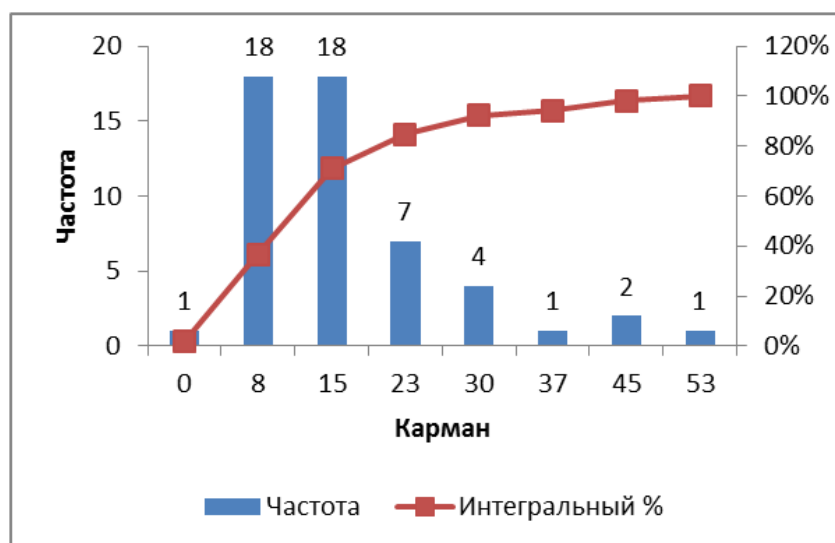


Рис. 7. Распределение относительных расхождений по частоте

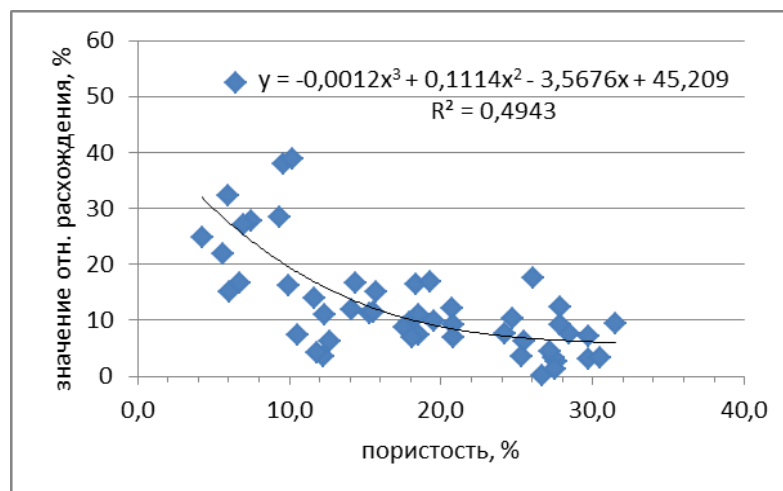


Рис. 8. Распределение относительных расхождений по диапазону пористостей

щения. В работе рассматриваются образцы с пористостью до 20%, но из приведенных материалов нельзя составить представление о соотношении результатов. В работе [9] упоминается, что пористость, определённая газовольюметрически приборами «Экспреспор» несколько завышена сравнительно с пористостью насыщения. В работе [21] приводятся данные о том, что пористость, определённая «Экспреспором» превышает пористость насыщения на 1,5 – 2% абсолютных. В работе [9] приводится таблица с результатами определения пористости методом насыщения и газовольюметрическим методом на установке ГВУ-1. Определения выполнены по образцам песчаников, известняков и алевролитов с пористостью от 3,3 до 20,8% по насыщению водой. Из этой таблицы следует, что пористость по газу больше пористости насыщением водой в среднем на 1,5 % абсолютных (19,5 % относительных).

Пределы колебания расхождений от -0,5 до +3,7 в абсолютном, от -2,4 до +66% относительных. Наши результаты: пористость по газу больше пористости насыщения в среднем на 1,3% абсолютных, 18,6% относительных. Пределы колебания расхождений - от -4 до +4,6% абсолютных, от 0,2 до 41,5% относительных. Можно принять, что результаты работы [9] хорошо совпадают с нашими.

В таблице 5 приведено в сжатом виде сопоставление результатов определения кажущейся минералогической плотности (плотности минерального скелета) методом насыщения и газовольюметрическим методом. Из таблицы видно, что КМП по газу в среднем на 0,01 г/см³ меньше, чем КМП, определённая насыщением. Это соотносится с приростом пористости: если в каком-то объёме уменьшить количество твёрдой фазы, уменьшится вес образца, а значит и плотность.

Таблица 5

Сопоставление КМП насыщением водой и КМП газовольюметрически

КМП вода, г/см ³	КМП газ, г/см ³	Среднее значение, г/см ³	Δабс, %	Δ абс , %	Δ отн, %
<u>2,61-2,80</u> 2,68 (52)	<u>2,47-2,81</u> 2,67 (52)	<u>2,54-2,76</u> 2,68 (52)	<u>(-0,1)-0,15</u> 0,01 (52)	<u>0-0,15</u> 0,02 (52)	<u>0-5,5</u> 0,9 (52)

Примечание: в числителе значения от-до, в знаменателе – средние по числу образцов в скобках.

Сравнение результатов по отдельным образцам показывает, что всего 3 значения имеют расхождения, превышающие допуск по [15]. Однако нужно сделать замечание относительно допустимых погрешностей. Приведенная в [8] допустимая погрешность касалась только открытой пористости, но затем была в работе [15] распространена на КМП и объёмную плотность. Эта допустимая погрешность для данного вида анализа слишком велика и более реалистичной представляется применявшаяся ранее на практике погрешность в 0,02 г/см³. Если сравнивать с

допуском в 0,02 г/см³, число расхождений достигает 16 (31%), причём в 9 случаях (17%) расхождение более чем вдвое. В таком случае результат контроля опять отрицателен.

Соотношение между результатами графически представлено на рисунке 9, где точки образцов 51182, 50022 и 50069 соответствуют 3 образцам, не уложившимся в допуск по [15]. Образец 50069 можно удалить в качестве экстремального выброса, но остальные точки необходимо учитывать. В отличие от пористости, значения КМП относительно линии равных значений имеют

большой разброс при хуже выраженной зоне преобладающей локализации.

С учётом удаления, на рис 10 показано распределение относительных расхождений по частоте. Распределение несимметричное, основные статистики таковы: $M_c=0,86$, $M_e=0,4$, $M_o=0$, $\sigma=1,1387$, $V=1,324$. Распределение модулей абсо-

лютных расхождений КМП по частоте подобно распределению относительных, также асимметричное, чаще всего встречаются расхождения $0-0,02 \text{ г/см}^3$. Основные статистики таковы: $M_c=0,0226$, $M_e=0,01$, мода (M_o) =0, $\sigma=0,0302$, коэффициент вариации (V)=1,336.

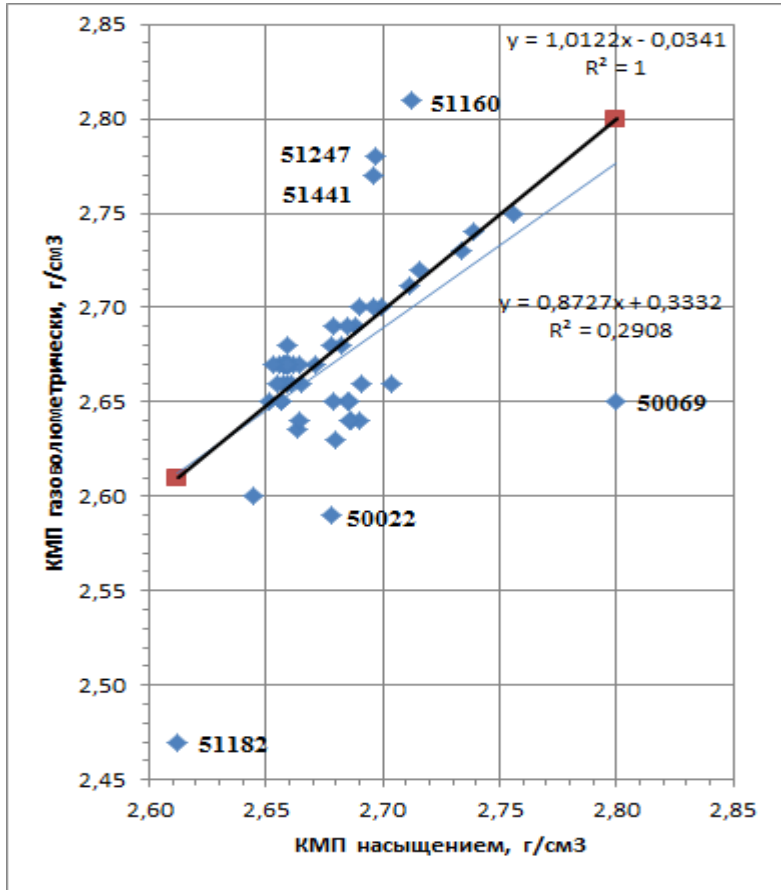


Рис. 9. Соотношение значений КМП, полученных методом насыщения и газоваolumетрическим методом по одним и тем же образцам

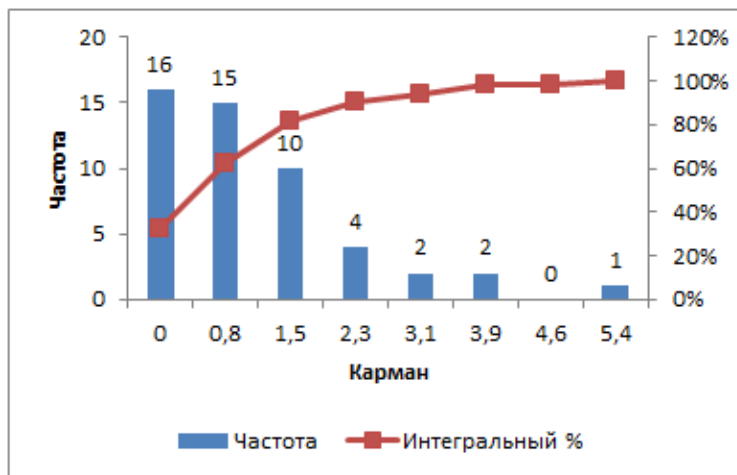


Рис. 10. Распределение относительных расхождений по частоте

Рис. 11 показывает распределение относительных расхождений по диапазону плотностей. Модули абсолютных расхождений распределены

практически также. Если всё же отбросить образец 51182, который находится на грани, за которой идёт значение экстремального выброса, то

складывается впечатление, что максимальные расхождения приурочены к середине интервала плотностей.

КМП намного менее интересует исследователей, чем пористость. В доступной нам литературе для сравнения нашлось только одно сопоставление результатов КМП насыщением и КМП, определённой газоволюметрическим методом [22]. В этой работе сравнение проводилось на 16 образцах большого размера ($d=70-80$, $L=30-60$ мм) известняков Узбекистана. Сравнимые определения были выполнены насыщением керосином и газоволюметрически. Получалось, что КМП насыщением меньше КМП, определённой газоволюметрически в среднем на $0,01$ г/см³. Абсолютные расхождения при этом колебались от $-0,03$ до $+0,03$ г/см³. В нашем опыте соотношение обратное: КМП насыщением в среднем больше, чем КМП газоволюметрическим методом на $0,01$

г/см³, а пределы расхождений больше: от $-0,1$ до $+0,15$ г/см³. Возможно, противоречивые результаты получены из-за конструктивных особенностей применяемых приборов, возможно, это связано с различием литологии, различием размеров образцов и большим диапазоном плотностей опробованных пород: у нас от $2,61$ до $2,80$, у них от $2,70$ до $2,73$ г/см³.

Таблица 6 в сжатом виде содержит результаты сопоставления значений **объёмной плотности**, определённой обоими методами. Определение объёмной плотности не является предназначением прибора «Поромер» [12], при определении внешнего объёма непосредственным замером он для этого не нужен. Однако, поскольку для расчёта объёмной плотности есть всё необходимое, интересно оценить сходимость и по этому параметру.

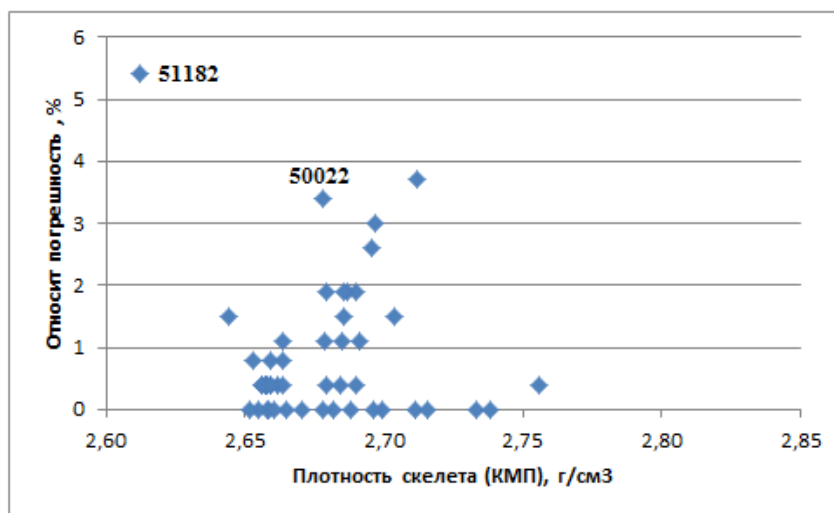


Рис. 11. Распределение относительных расхождений по диапазону плотностей

Таблица 6

Сопоставление объёмной плотности, определённой насыщением водой и газоволюметрически

Объёмная плотность вода, г/см ³	Объёмная плотность газ, г/см ³	Среднее значение, г/см ³	Δабс, %	Δ абс , %	Δ отн, %
<u>1,87-2,59</u> 2,20 (52)	<u>1,81-2,54</u> 2,16 (52)	<u>1,84-2,57</u> 2,18 (52)	<u>(-0,06)-0,22</u> -0,04 (52)	<u>0,01-0,22</u> 0,05 (52)	<u>0,4-9,4</u> 2,3 (52)

Примечание: в числителе значения от-до, в знаменателе – средние по числу образцов в скобках.

Из таблицы сразу заметно, что объёмная плотность по газу в среднем на $0,04$ г/см³ меньше, чем объёмная плотность, определённая насыщением. Так же, как и в случае с КМП, это соотносится с приростом пористости. Расхождение результатов здесь заметно больше и явно зависит от расхождения измеренного и определённого гидростатически объёма образца. При сравнении с допуском по [15] в 19 случаях (37%) расхождения плотностей превышают допустимые, причём по 2 образцам больше, чем вдвое. Если

сравнивать с допуском $0,02$ г/см³, то по 46 образцам (81%) расхождения превышают допустимые, причём по 17 образцам (33%) более чем вдвое. Таким образом, в обоих случаях расхождения превышают допустимые между параллельными определениями. Соотношение между результатами графически представлено рис. 12, на котором хорошо видно, что основная масса точек лежит ниже линии равных значений, отражая тот факт, что объёмная плотность по газу обычно ниже объёмной плотности по насыщению.

На рис. 12 обращает на себя внимание точка образца № 51182, расположенная в стороне от остальных. Квартильный анализ позволяет оценить значение, соответствующее этой точке как экстремальный выброс и пренебречь ею при анализе расхождений между результатами.

С учётом вышеизложенного на рис. 13 показано распределение по частоте относительных погрешностей. Основные статистики таковы: $M_c = 2,006$, $M_e = 1,777$, M_o – не опр, $\sigma = 1,068$.

Для распределения модулей абсолютных расхождений по частоте основные статистики таковы: $M_c = 0,0427$, $M_e = 0,04$, $M_o = 0,03$, $\sigma = 0,0204$.

Рисунок 14 показывает распределение расхождений по диапазону объёмной плотности.

Максимальные относительные расхождения связаны с минимальными плотностями, чем больше плотность, тем меньше становится расхождение. Подобным образом распределены и абсолютные расхождения, но там эта зависимость выражена несколько хуже ($R^2=0,3085$).

Чтобы ответить на вопрос, как хорошо увязываются между собой разные параметры, определённые газоволюметрическим методом, на рис. 12 приведена зависимость объёмной плотности от пористости. Зависимость имеет коэффициент аппроксимации 0,9736, что не уступает достоверности аппроксимации связи этих параметров для метода насыщения.

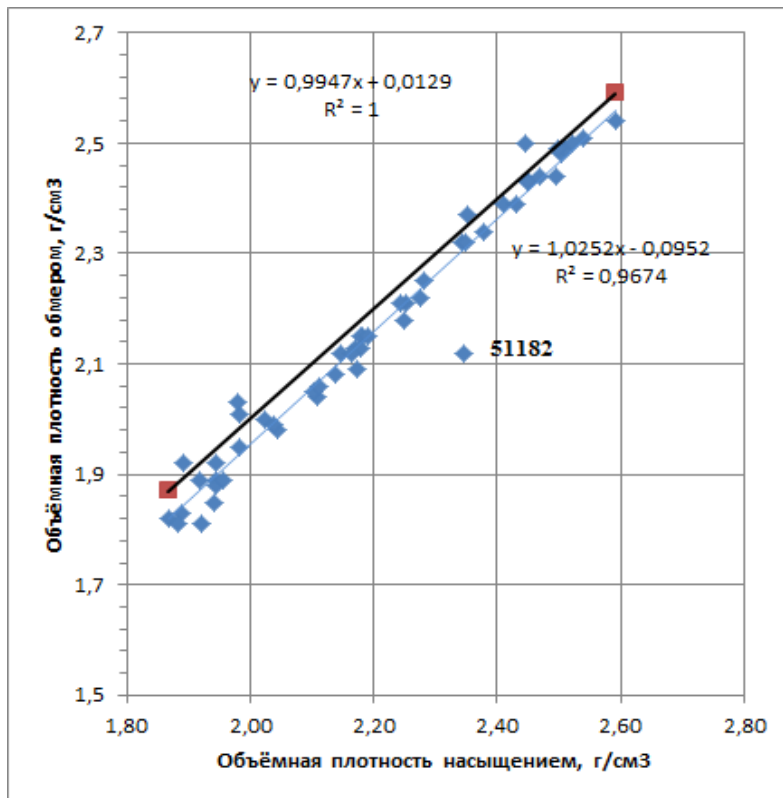


Рис. 12. Соотношение значений объёмной плотности, полученных методом насыщения и газоволюметрическим методом по одним и тем же образцам

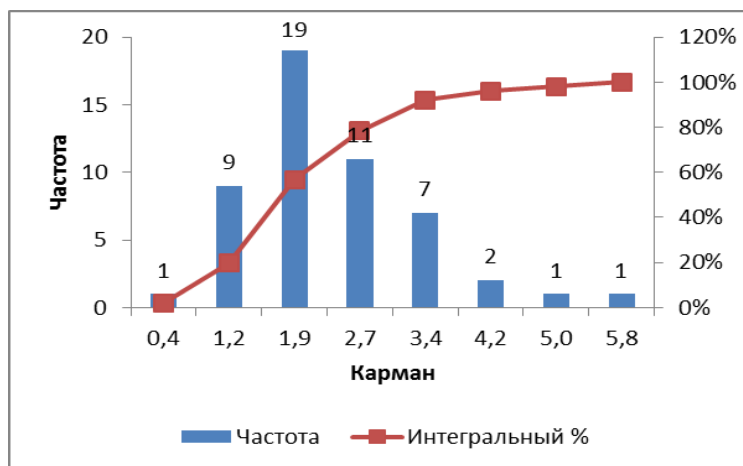


Рис. 13. Распределение относительных расхождений по частоте

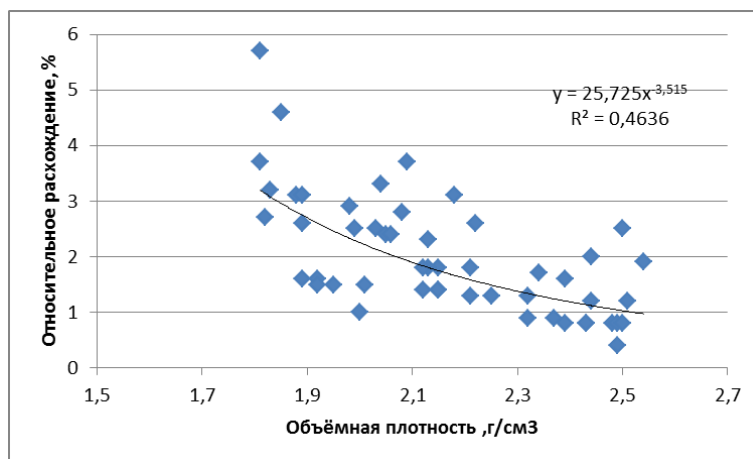


Рис. 14. Распределение относительных расхождений по диапазону значений объёмной плотности

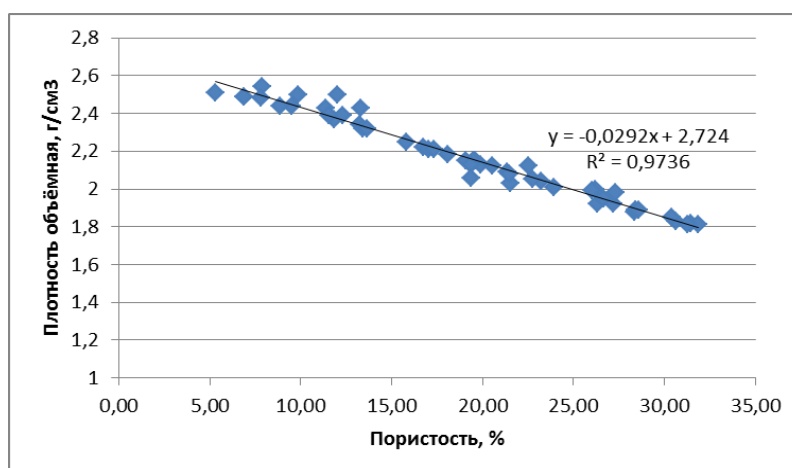


Рис. 15. Соотношение пористости и объёмной плотности, полученных газовольюметрическим методом

Таким образом, просто заменить результаты метода насыщения результатами газовольюметрического метода невозможно. Нужно либо вводить поправку, которая будет приводить результаты одного к другому [13], либо обосновать преимущественное применение газовольюметрического метода в определённых случаях.

Различными исследователями давно определена область преимущественного применения газовольюметрии [17,18,19,20]. К этой области относятся:

1) породы, которые не выдерживают насыщения жидкостью (размокают, набухают, теряют прочность);

2) породы крупнопористые, кавернозные, трещиноватые, из пустот которых вытекает насыщающая жидкость;

3) тонкопористые породы (типа алевролитов) на которых особенно вероятно недонасыщение;

4) плотные, малопористые (< 5 %) породы, где в добавок к недонасыщению, на результат начинает влиять поверхностная плёнка жидкости, сопоставимая по весу и объёму с жидкостью, вошедшей в поры.

Во всех перечисленных случаях пористость по газу, больше пористости насыщением и во всех случаях определение по газу более достоверно. Если отвлечься от механически непрочных разностей, мы имеем здесь дело либо с очень крупнопористыми (кавернозными), либо с очень тонкопористыми образцами (малопористые образцы пункта «4» как правило и очень тонкопористые). Как те, так и другие, довольно редко встречаются среди продуктивных коллекторов ДДВ. А как обстоят дела с пористостью основной массы песчаных коллекторов, имеющих наиболее часто встречающиеся, средние характеристики порового пространства? Считается, что их пористость можно с примерно равной точностью определять разными методами, но практика показывает, что и здесь газовольюметрически определённая пористость больше пористости насыщения.

В связи с этим интересно сравнить результаты по тем же образцам, полученные при насыщении водой и керосином и приведенные в таблицах 6-8. Несколько образцов не выдержали насыщения водой и не могли быть использованы повторно. Сопоставлялись результаты по 47 об-

разцам, также с использованием методики оценки результатов лабораторного контроля, рекомендованного [15,16] и значений допустимых отклонений, регламентированных [8,15]. Два образца (50069 и 51182) были отброшены как экстремальные выбросы на основании превышения тройного межквартильного расстояния, по правилу трёх сигм и теореме Чебышева. С целью экономии места результаты по оставшимся 45 образцам приведены в таблице 7 в сокращённом виде. Из таблицы 7 видно, что средняя пористость по керосину несколько больше, чем по воде – на 0,2 % абсолютных, 2,3% относительных. Используемая методика сравнения результатов говорит о том, что расхождения результатов находятся на грани допустимого: относительная погрешность, в 75,6 % случаев не превышает допустимого значения, но имеется образец, где расхождение превышает двойное допустимое. Если бы речь шла о лабораторном контроле, результат его был бы отрицательным. Другими словами, расхождения между результатами уже значимы.

В таблице 8 приведено сопоставление результатов КМП при насыщении керосином и водой по 46 образцам. Один образец (500069) от-

брошен как экстремальный выброс на тех же основаниях, что и при обработке пористости. КМП при насыщении керосином оказывается несколько меньшей, чем при насыщении водой – в среднем на 0,02 г/см³, что согласуется с небольшим приростом пористости. Если сравнивать расхождение результатов с допустимой погрешностью по [15], то расхождение заметно только в том образце, который уже охарактеризован выше как экстремальный выброс. Если сравнивать с допуском в 0,02 г/см³, число расхождений достигает 5-ти (10,9%), что всё равно позволяет говорить о позитивном контроле партии.

В таблице 9 представлено сопоставление результатов объёмной плотности при насыщении керосином и водой по 47 образцам. В данном случае, ни одно значение не может быть отброшено как выброс. Если сравнивать с допусками [15], то расхождение на всех образцах не превышает допустимого значения. Если сравнивать с допуском 0,02 г/см³, то по 12 образцам (25,5%) расхождения превышают допустимые и контроль отрицателен. При этом значения объёмной плотности по воде больше плотности по керосину в среднем на 0,02 г/см³.

Таблица 7

Сопоставление результатов определения пористости насыщением керосином и моделью пластовой воды

К _п керосин, %	К _п вода, %	Δабс, %	Δ абс , %	Δ отн, %
<u>4,4-30,4</u>	<u>4,3-29,7</u>	<u>(-0,6)-(1,0)</u>	<u>0-1,3</u>	<u>0-10,2</u>
16,8 (45)	16,6 (45)	0,2 (45)	0,31 (45)	2,3 (45)

Примечание: в числителе значения от-до, в знаменателе – среднее по числу определений, указанному в скобках.

Таблица 8

Сопоставление результатов определения КМП, полученных при насыщении керосином и водой

КМП керосин, г/см ³	КМП вода, г/см ³	Δабс, %	Δ абс , %	Δ отн, %
<u>2,63-2,74</u>	<u>2,61-2,76</u>	<u>(-0,04)-0,05</u>	<u>0-0,05</u>	<u>0-1,9</u>
2,66 (46)	2,68 (46)	-0,02 (46)	0,02 (46)	0,65 (46)

Примечание: в числителе значения от-до, в знаменателе – средние по числу образцов в скобках.

Таблица 9

Сопоставление результатов определения объёмной плотности, полученных при насыщении керосином и водой

Объёмная плотность керосин, г/см ³	Объёмная плотность вода, г/см ³	Δабс, %	Δ абс , %	Δ отн, %
<u>1,85-2,57</u>	<u>1,88-2,59</u>	<u>(-0,04)-0,03</u>	<u>0-0,04</u>	<u>0-1,6</u>
2,21 (47)	2,23 (47)	-0,02 (47)	0,02 (47)	0,9 (47)

Примечание: в числителе значения от-до, в знаменателе – средние по числу образцов в скобках.

Возвращаясь к пористости, нужно отметить, что вопрос о соотношении пористости, определённой методом насыщения керосином и насыщения водой до сих пор спорный. Некоторые авторы считают, что обычно пористость по кероси-

ну несколько превышает пористость, определённую по воде. Некоторые фиксируют обратное соотношение, объясняя его разбуханием глинистого материала в водных растворах, аномальной плотностью связанной воды и утверждая, что

пористость гидрофильных пород при насыщении водными растворами больше, чем при насыщении керосином [23].

Возможно, причины различия во взглядах кроются в различиях свойств пород, с которыми работают разные исследователи. Для основного продуктивного комплекса ДДВ, с коллекторами которой работают авторы данной статьи, не характерно содержание сильно набухающих минералов, в составе цемента обычно присутствуют гидрослюды, реже каолинит и хлориты. На этих породах параллельно проведенные определения пористости по воде и керосину показывают, что обычно пористость по керосину больше пористости по воде, а оба вида плотности меньше, чем по воде.

Например, песчаники скв. № 30 Кобзевского месторождения, отобранные из отложений горизонта Г-6 в интервале 3684-3889 м, при насыщении керосином показали среднюю пористость 8,6%, а при последующем насыщении водой – 7,6%, т.е. разность составила 1,0%. КМП и объёмная плотность по керосину была меньше. КМП по керосину 2,48 г/см³ против 2,6 г/см³ по воде, объёмная плотность соответственно 2,71 против 2,81 г/см³.

Чтобы избежать возможного влияния изменения поверхностных свойств в результате экстракции остатков керосиновой плёнки перед повторным насыщением водой, были взяты 5 пар параллельных образцов по скв. № 1 Герсевановского месторождения из отложений горизонта М-6, в интервале 3369,9-3385,4 м. Один образец насыщался водой, другой керосином. Средняя пористость по керосину составила 5,6, по воде – 5,4%, разность 0,2%, причём и гидрофильный, и гидрофобный образцы имели большую пористость по керосину.

В работе [21] идёт речь о недонасыщении пор водой сравнительно с керосином. В работе [9], приводятся результаты параллельных определений пористости по воде и керосину на 13 образцах с пористостью от 3,3 до 20,8%. Пористость по керосину превысила пористость по воде в среднем на 0,7% абсолютных.

Различие между результатами не всегда значимо. Сильно влияет характер смачиваемости породы, а также и наличие случайных погрешностей, обусловленных процессом насыщения. В некоторых случаях имеет место обратное соотношение результатов, т. е. пористость по воде превышает пористость по керосину. В исследованной коллекции образцов Герсевановского месторождения расхождение также не слишком велики (превышение составило 0,2%), однако превышают допустимые случайные между параллельными определениями.

Причину превышения пористости по керосину принято искать в лучшей проникающей способности керосина, обеспечивающей более полное насыщение порового пространства. Такое же объяснение может быть приведено и для обоснования разницы между результатами газоволюметрического метода и метода насыщения. Проникающая способность газа (воздуха, азота, гелия) намного больше, чем у керосина, тем более больше, чем у воды. Следовательно, вероятность недонасыщения меньше, степень заполнения порового пространства выше и результат метода достовернее. К подобным выводам пришли и исследователи в работах [9,21], где они предлагают за истинный объём пор принимать объём пор, определённый газоволюметрическим методом и приводить к нему значения, полученные насыщением жидкостью.

Остаётся оценить значимость получаемого прироста пористости, какой именно дополнительный объём мы получим за счёт более полного заполнения пор породы. В грубопористом, кавернозном, трещиноватом коллекторе это будут самые крупные поры и пустоты, которые мы теряем при насыщении жидкостями и которые, скорее всего, обеспечивают основные ёмкостно-фильтрационные свойства коллектора. В тонкопористом коллекторе мы получим прирост пористости за счёт самых тонких пор, куда не добирается насыщающая жидкость в ходе лабораторного опыта и которые, скорее всего, заняты остаточной водой в пластовых условиях. В типичном промышленном коллекторе ДДВ с какой-то средней пористостью, не содержащем каверн, мы также вряд ли получим прирост за счёт рабочей межзерновой пористости, она хорошо насыщается и керосином, и водой. Скорее всего, это будет мелкая пористость цемента, которая в пластовых условиях будет также полностью заполнена остаточной водой.

Выводы

1. Исключительной областью применения газоволюметрического метода являются образцы пород, которые не выдерживают насыщения жидкостью (размокают, набухают, теряют прочность), образцы крупнопористых, кавернозных, трещиноватых пород, из пустот которых вытекает насыщающая жидкость, тонкопористые породы, недонасыщаемые жидкостью в ходе лабораторного опыта и плотные мелкопористые породы, где на результат начинает влиять поверхностная плёнка жидкости. Во всех этих случаях результат газоволюметрического метода будет более достоверным, и определённое им значение пористости будет больше пористости насыщения,

2. При массовых определениях открытой пористости традиционных коллекторов, пористость, определённая газоволюметрическим ме-

тодом, будет в среднем несколько больше пористости насыщения и водой (1-1,5%), и керосином. Прирост пористости объясняется большей проникающей способностью газа, и ожидается в основном за счёт тонкой пористости цемента, в пластовых условиях заполненной остаточной водой.

3. КМП и объёмная плотность, определённая газоволюметрическим методом будет несколько меньше обоих видов плотностей, определённых насыщением (на 0,01 г/см³ и 0,04 г/см³ соответственно).

4. Максимальная значимость прироста пористости ожидается на грубопористых, кавернозных и трещиноватых коллекторах, где при определении методом насыщения теряется самая крупная, рабочая пористость. Малопористые породы (<5%) с обычно тонкой межзерновой пористостью если и дадут прирост в 1-1,5%, то это всё равно не превратит их в промышленный коллектор. На традиционных коллекторах мы также вряд ли получим прирост за счёт рабочей межзерновой пористости, она хорошо насыщается и

керосином, и водой. Скорее всего, это будет мелкая, нерабочая пористость цемента, которая в пластовых условиях будет полностью заполнена остаточной водой.

5. При обосновании коэффициента пористости как подсчётного параметра при подсчёте запасов углеводородов с использованием результатов газоволюметрического метода, необходимо учитывать не только прирост открытой пористости, но и характер приращиваемой пористости.

6. При необходимости для приведения результатов одного метода к другому, необходимо вводить переводные коэффициенты. Так, для перевода Кп насыщением в Кп по газу согласно данному исследованию применяется коэффициент 1,07, для перевода КМП по насыщению в КМП по газу – коэффициент 0,997, для перевода объёмной плотности насыщением в плотность по газу – коэффициент 0,980. Ввиду сравнительно небольшого объёма сравнения для уточнения коэффициентов могут понадобиться дополнительные исследования.

Литература

1. Гороян, В. И. Выбор рациональной схемы газоволюметрического объёмомера для измерения пористости. В сб. «Методы исследования пород-коллекторов» [Текст] / В. И. Гороян // Тр. ВНИГНИ. – Вып. 90. – М., 1970. – С. 32-59.
2. Петерсилье, В. И. К методике измерения пористости и минералогической плотности с помощью компенсационного объёмомера. В сб. «Методы исследования пород-коллекторов нефти и газа и аппаратура для этих целей» [Текст] / В. И. Петерсилье, Ю. А. Белов // Тр. ВНИГНИ. – Вып. 156. – М., 1974. – С. 41-47.
3. Гороян В.И. Компенсационно-рекуррентный метод измерения объёма твёрдой фазы образца. В сб. «Методы исследования пород-коллекторов нефти и газа и аппаратура для этих целей» [Текст] / В. И. Гороян // Тр. ВНИГНИ. – Вып. 156. – М., 1974. – С. 59-64.
4. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрографическими методами. [Текст]. – М. : ВНИГНИ, 1978. – 395 с.
5. А.С. № 495589. Устройство для измерения пористости и объёма скелета образцов горных пород. Морозович Я.Р., Копосов И.А., Куликов Ю.А. / Бюллетень №46, 15.12.75 г.
6. А.С. № 495589, кл. G 01 N 15/18. Способ определения пористости твёрдых тел и порозиметр для его осуществления. Громов В. К. / 15.08. 1976.
7. ГОСТ 26450.0-85 Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств. (Породи гірські. Загальні вимоги до підготовки проб для визначення колекторських властивостей) [Текст] / М. : Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
8. ГОСТ 26450.1-85 Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасъщением (Породи гірські. Метод визначення коефіцієнта відкритої пористості насиченням рідиною) [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 8с.
9. Нестеренко, М. Ю. До питання визначення відкритої пористості порід за допомогою газоволюметричного методу [Текст] / М. Ю. Нестеренко, Я. А. Пилип, В. В. Иванов, Ю. М. Віхоть // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №2. – С. 17–20.
10. Зиятдинов, И. Г. Новейшие методы исследования кернового материала [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL: <http://www.tatnipi.ru>. 2016.
11. Закрытая пористость горных пород, способы её выявления и количественной оценки [Текст] / Г. А. Шнурман, А. Ф. Боярчук, А. Л. Брайловская // Геология нефти и газа. – №7. – 1989.
12. Газоволюметрический пикнометр «Поромер». Руководство по эксплуатации / ООО ЭкогеосПром, Тверь, 2014. – 9 с.
13. Дахнов А.В. Повышение достоверности определения коэффициента открытой пористости газоволюметрическим пикнометром «Поромер» [Текст] / А.В. Дахнов, И.Б. Крюкова // Сборник Вести газовой науки №2 (18). – 2014. – С. 44-46.
14. Сайт Справочник химика 21 века [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL: <http://chem21.info>

15. Методичні вказівки. Обґрунтування кондиційних значень фільтраційно-ємнісних параметрів теригенних порід-колекторів для підрахунку загальних запасів вуглеводнів (за лабораторними дослідженнями кер-на)[Текст] – ЛВ УкрДГРІ: Київ-Львів, 2005. – 58 с.
16. СОУ 09.1-30019775-218:2013 Дослідження керна нафтових і газових свердловин. Порядок проведення [Текст] – Київ, ПАТ «Укргазвидобування», 2013. – 28 с.
17. Ханін, А. А. Порооди-колекторы нефти и газа и их изучение [Текст] / А. А. Ханін. – М. : Недра, 1969. – 368 с.
18. Котяхов, Ф. И. Физика нефтяных и газовых коллекторов [Текст] / Ф. И. Котяхов. – М. : Недра, 1977. – 287 с.
19. Гиматудинов, Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта [Текст] / Ш.К. Гиматудинов. – М. : Недра, 1971. – 312 с.
20. Петрофизические методы исследования кернового материала. Учебное пособие в 2-х книгах. Кн. 2: Лабораторные методы петрофизических исследований кернового материала [Текст] / М. К. Иванов, Г. А. Калмыков, В. С. Белохин // М. : Изд-во Моск. ун-та, 2008.
21. Нестеренко, М. Ю. Методичні аспекти визначення ємнісних параметрів на зразках гірських порід. [Текст] / М. Ю. Нестеренко, Г. П. Боднарчук // Мінеральні ресурси України. – 2012. – № 1. – С. 30-32.
22. Яньшина, Н. А. Оценка минералогической плотности известняков Западного Узбекистана. В сб. «Методы исследования пород-коллекторов нефти и газа и аппаратура для этих целей» [Текст] / Н. А. Яньшина. – Тр. ВНИГНИ. – Вып. 156. – М., 1974. – 27-32 с.
23. Гудок, Н. С. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород [Текст] / Н. С. Гудок, Н. Н. Богданович, В. Г. Мартынов. – М. : Недра, 2007. – 592 с.

UDC 553.048+550.85

Sergey Poverenniy,

Senior Researcher, Ukrainian Research Institute for Natural Gases,
Gimnaziyna naberejna., 20, Kharkiv, 61010, Ukraine,

e-mail: sergei-poverenniy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7836-6278>;

Oleksandr Chuienko,

Head of laboratory, V. N. Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: chuenko@hotbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6717-4695>;

Olena Piddubna,

Engineer, Ukrainian Research Institute for Natural Gases, e-mail: dgp_pzg@ndigas.com.ua;

Viktor Sokolov,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Hydrogeology,
V. N. Karazin Kharkiv National University, e-mail: hydrogeology@karazin.ua

GAS-VOLUMETRIC METHOD IN LABORATORY RESEARCH PRACTICE OF ROCKS COLLECTOR PROPERTIES

Problem statement. Gas-volumetric method of porosity and density in rocks collectors' determination is becoming more and more popular in production and educational practice. The theory and practice of this method in the domestic literature is not sufficiently covered, there is a lack of literature on the principles of the obtained results and comparison of gas-volumetric method results with the saturation method, which until now has been the main method for determining porosity and density of rocks.

The purpose of this work is to study gas-volumetric method in – depth, to compare its results with the results of the liquid saturation method, determine the convergence between these methods and the possibility of their interchangeability in the complex of laboratory studies of reservoir properties.

A scientific and practical value is conditioned by the fact that porosity of collectors is a basic calculation parameter. Accuracy of hydrocarbon supply depends on it.

Preliminary analysis of the available material. All available material on the design and operation of gas-volumetric devices were analyzed for this purpose and a simple but sufficiently complete description of the methodology and the operation principle of devices suitable for workers at production laboratories and students undergoing training on these devices was given.

The comparison of the results. Before comparison, the results were checked for convergence on the standards and on the samples. After confirming the performance of the device and its compliance with the specifications stated in its technical passport, we switched to the comparison of different methods. By com-

paring the results of open porosity, apparent mineralogical density, volumetric density obtained by the gas-volumetric method and saturation with kerosene and water we came to certain conclusions.

The main conclusions are: 1. The scope of exclusive application of the gas-volumetric method is defined. 2. The quantitative correlation of the above parameters on the results of the gas-volumetric method and the saturation method by reservoir water or kerosene is established. 3. The increase in porosity was estimated by the gas-volumetric method. 4. Introduction of correction factors of one method results to the results of another one is proved and their values are preliminarily estimated.

Keywords: reservoir capacity, porosity, porosity coefficient, density, laboratory determination of porosity, gas-volumetric method, liquid saturation method

References

1. Gorozhan, V. I. (1970). Selection of a rational scheme of a gas-volumetric flow meter for measuring porosity. In col. of papers «Methods of rock-collectors reseach». Moscow, Tr. VNIGNI, 90, 32-59.
2. Petersil'e, V. I., Belov, Ju. A. (1974). The methodology for the measurement of porosity and mineralogical density by the compensation obomer. V sb. «Metody issledovanija porod-kollektorov nefiti i gaza i apparatura dlja jetih celej», Moscow, Tr. VNIGNI, 156, 41-47.
3. Gorozhan, V. I. (1974). Compensatory and recurrent method for measuring the volume of the solid phase of the sample. V sb. «Metody issledovanija porod-kollektorov nefiti i gaza i apparatura dlja jetih celej» Moscow, Tr. VNIGNI, 156, 59-64.
4. Guidelines for the study of rock-collector of oil and gas by physical and petrographic methods (1978). M., VNIGNI, 395.
5. Morozovich, Ja. R., Koposov, I. A., Kulikov, Ju. A. (15.12.75). Sertificate of authorship # 495589 SSSR. Device for measuring the porosity and volume of the skeleton of rock samples. Bjulleten' 46.
6. Gromov, V. K. (15.08.1976). Sertificate of authorship # 495589, kl. G 01 N 15/18. A method for determining the porosity of solids and a porosimeter for its implementation.
7. GOST 26450.0-85 (1985). Rocks. General requirements for sampling and sample preparation for reservoir characterization. M., izd-vo standartov, 8.
8. GOST 26450.1-85 (1985). Rocks. Method for the determination of open porosity coefficient by fluid saturation. M., Izd-vo standartov, 8.
9. Nesterenko, M. Iu., Pylyp, Ya. A., Ivanov, V. V., Vikhot, Yu. M. (2011). The determination of open porosity rocks using by a gas-volume method. Naftova i hazova promyslovist, 2, 17-20.
10. Zijatdinov, I. G. (2016). The latest research methods of core material]. Available at: <http://www.tatnipi.ru>.
11. Shnurman, G. A., Bojarchuk, A. F., Brajlovskaja, A. L., Barminskij, M. A., Shipulin, S. V. (1989). Closed porosity of rocks, ways to identify and quantify. Geologija nefiti i gaza, 7, 17-19.
12. Gas-volumetric pycnometer «Poromer». User manual (2014). LTD JekogeosProm, Tver', 9.
13. Dahnov, A. V., Krjukova, I. B. (2014). To increase the accuracy of determining the coefficient of open porosity by pycnometer «Poromer». Vesti gazovoj nauki, 2, 44-46.
14. Website guide chemist of the 21st century. Available at: www.chem21.info.
15. Substantiation of standard values of filtration-capacitive parameters terrigenic reservoir rocks for calculation of total hydrocarbon reserves. Guidelines. (2005). LV UkrDHRI, Kyiv-Lviv, 58.
16. SOU 09.1-30019775-218:2013 (2013). Core studies of oil and gas wells. The procedure of carrying out. Kyiv, PAT «Ukrhazvydobuannia», 28.
17. Hanin, A. A. (1969). Rock-collectors of oil and gas and their study. M.: Nedra, 368.
18. Kotyahov, F. I. (1977). Physics of oil and gas reservoirs. M.: Nedra, 287.
19. Gimatudinov, Sh. K. (1971). Physics of oil and gas reservoir. M.: Nedra, 312.
20. Ivanov, M. K., Kalmykov, G. A., Belohin, V. S., Korost, D. V., Hamidullin, R. A. (2008). Petrophysical methods of research of core material. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 113.
21. Nesterenko, M. Iu., Pylyp, Ya. A., Ivanov, V. V., Vikhot, Yu. M. (2011). Methodological aspects of determining capacity parameters for the rock samples. Naftova i hazova promyslovist, 2, 17-20.
22. Jan'shina, N. A. (1974). Estimation of mineralogical density of limestone in Western Uzbekistan. V sb. «Metody issledovanija porod-kollektorov nefiti i gaza i apparatura dlja jetih celej» Moskva, Tr. VNIGNI, vyp. 156, 27-32.
23. Gudok, N. S., Bogdanovich, N. N., Martynov, V. G. (2009). Determination of physical properties of oil-containing rocks. Moscow: Nedra, 592.

Альона Ігорівна Стеценко,

аспірантка, Криворізький відділ проблем екологічної геології та розробки рудних родовищ,
Відділення морської геології та осадочного рудоутворення, Національна академія наук України,
вул. Пушкіна, 37а, м. Кривий Ріг, 50002, Україна,
e-mail: stetsenkoaliona@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8262-0603>

ЛІТОЛОГІЯ ТА ГЕОХІМІЯ ОСАДОВИХ ПОРІД ПАВЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ КРИВОРІЗЬКОЇ СТРУКТУРИ

У статті розглянуті дані щодо літології, мінерального складу та геохімії осадкових порід Павлівського родовища розташованого в західній частині Криворізької структури. Вивчення порід проводилось з використанням шліхового мінералогічного, гранулометричного та спектрального аналізу. Досліджувались осадкові породи Павлівського родовища: первинні та вторинні каоліни, піщано-глиниста товща, еолові суглинки.

Встановлено тісний зв'язок осадкових порід з розломно-блоковою тектонічною будовою кристалічного фундаменту району. Відзначається збільшення потужності площадної кори вивітрювання і осадочного розрізу в цілому в зонах розломів. Встановлено вплив акцесорних мінералів на металогенічну спеціалізацію порід осадочного комплексу. Дослідженню розподіл хімічних елементів в осадочному розрізі, який має виражений закономірний характер. Встановлено суттєве накопичення широкого спектру хімічних елементів, що перевищують значення кларків (Zr, Y, Yb, Sc, Pb, La, Au) переважно у нижній та верхній частинках розрізу. Важливе значення має концентрація золота (100 мг/т) в четвертинних еолових суглинках району. Виконані дослідження дозволили розділити породи осадочного чохла на три різновікові літолого-геохімічні зони: I - палеозой-кайнозойської кора вивітрювання; II- неогенові морські піски; III- еолові відклади четвертинного періоду.

Ключові слова: Павлівське родовище, осадкові породи, Криворізька структура, кристалічний фундамент, літологія, мінеральний склад, геохімія, хімічні елементи.

А.И. Стеценко. ЛИТОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПАВЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРИВОРОЗСКОЙ СТРУКТУРЫ. В статье рассмотрены данные о литологии, минеральном составе и геохимии осадочных пород Павловского месторождения расположенного в западной части Криворожской структуры. Изучение пород проводилось с использованием шлихового минералогического, гранулометрического и спектрального анализов. Исследовались осадочные породы Павловского месторождения: первичные и вторичные каолины, песчано-глинистая толща, эоловые суглинки.

Установлена тесная связь осадочных пород с разломно-блочным тектоническим строением кристаллического фундамента района. Отмечается увеличение мощности площадной коры выветривания и осадочного разреза в целом в зонах разломов. Установлено влияние акцесорных минералов на металлогеническую специализацию пород осадочного комплекса. Исследовано распределение химических элементов в осадочном разрезе, который имеет выраженный закономірний характер. Установлено существенное накопление широкого спектра химических элементов, превышающих значение кларков (Zr, Y, Yb, Sc, Pb, La, Au) преимущественно в нижней и верхней частях разреза. Важное значение имеет концентрация золота (100 мг/т) в четвертинных эоловых суглинках района. Выполненные исследования позволили разделить породы осадочного чехла на три разновозрастные литолого-геохимические зоны: I - палеозой-кайнозойская кора выветривания; II-неогеновые морские пески; III-эоловые отложения четвертинного периода.

Ключевые слова: Павловское месторождение, осадочные породы, Криворожская структура, кристаллический фундамент, литология, минеральный состав, геохимия, химические элементы.

Постановка проблеми. Осадкові породи західної частини Криворізької структури вивчалися з метою визначення загальних закономірностей будови палеоген-неогенової товщі та пошуків будівельних матеріалів і покладів піску для потреб ливарного виробництва [1, 3, 10, 14, 22].

Проведені автором літолого-геохімічні дослідження в межах західної частини Кривбасу на основі комплексного аналізу літологічних і геохімічних даних дозволили уточнити характерні особливості осадочного розрізу та закономірності розподілу в ньому хімічних елементів. Отримані нові дані дозволили встановити суттєвий вплив вікових, структурних і генетичних факторів на літологічний склад і металогенічну спеціалізацію осадочних утворень даного району. Результати роботи сприятимуть уточненню умов утворення, геохімічної (металогенічної) спеціалізації та розширенню сфери промислового використання осадочних порід даного регіону.

Аналіз попередніх досліджень. У геоструктурному відношенні Павлівське родовище належить до центральної частини Українського щита [4]. Родовище знаходиться в Інгуло-Інгулецькому регіоні; в його східній частині, яка розташована між Західно-Інгулецьким і Криворізько-Кременчуцьким регіональними розломами [18]. Місцевість відома у геологічній літературі під назвою Західно-Інгулецької або Інгулецько-Криворізької зони. В деякому відношенні вона є перехідною між Інгулецьким і Середньопридніпровським блоками, чим і пояснюється вибір району досліджень [15] (рис. 1).

Докембрій представлений інтрузивними, ультраметаморфічними та метасоматичними утвореннями. До них відноситься кировоградський комплекс ультраметаморфічних гранітоїдів, утворених під час перероблення архейського фундаменту. Переважають дрібно- та середньозернисті, рідше порфіробластичні смугасті і тіньові плагіомікроклінові граніти та мігматити. За скла-

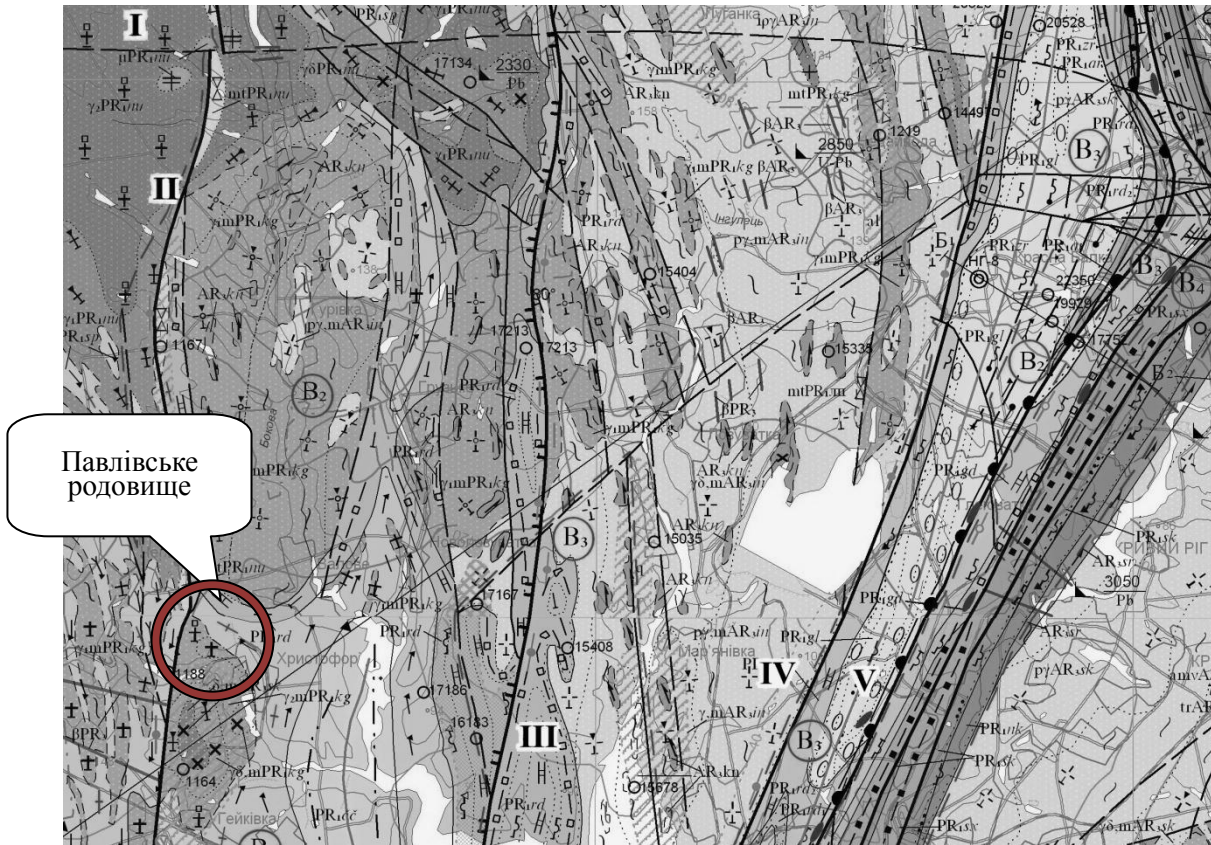


Рис. 1. Карта-схема розломно-тектонічної будови району досліджень (за Захаровим, 1975 р.).
Основні регіональні розломи: I – Девладівський, II – Західно-Інгулецький, III – Інгулецький,
 IV – Західний, V – Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом

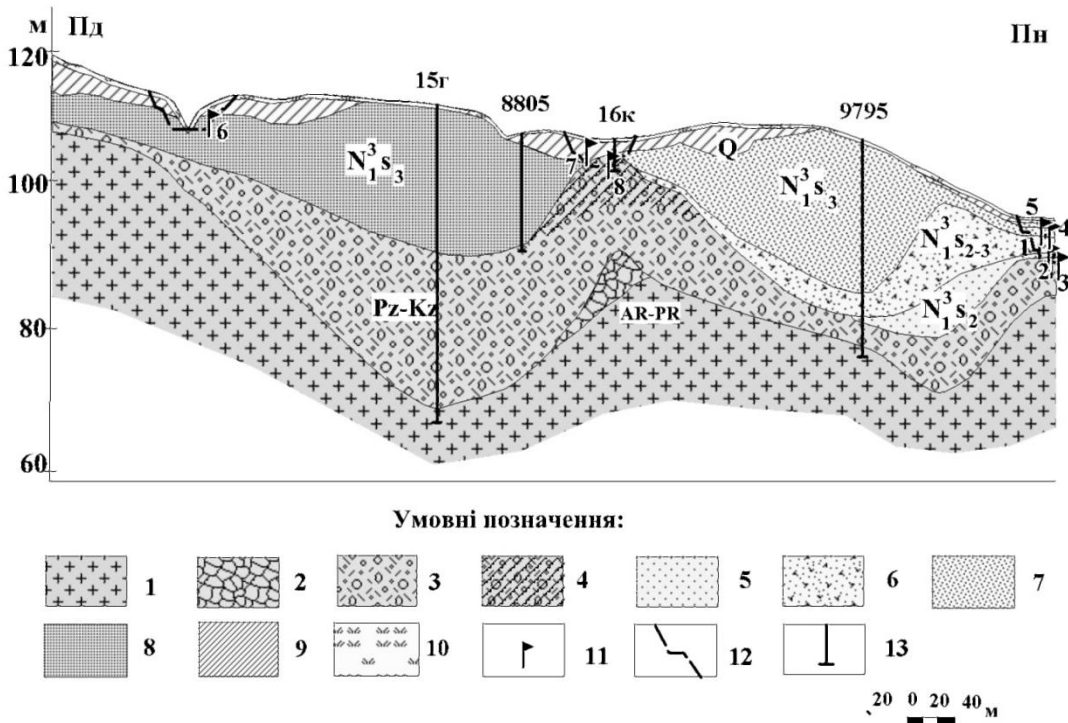


Рис. 2. Геолого-літологічний розріз Павлівського родовища
 (за Т. В.Ганенко (1982 р.), з доповненнями автора):

- 1 – докембрійські граніти та мігматити; 2 – жорстково-щербениста зона кори вивітрювання;
- 3 – гідролудисто-каолінова зона кори вивітрювання; 4 – зона первинних каолінів; 5 – піски крупнозернисті;
- 6 – піски дрібнозернисті з домішкою гідроксидів заліза; 7 – піски дрібнозернисті з домішкою бурої глини;
- 8 – піски дрібнозернисті з домішкою білої каолінової глини; 9 – суглинки; 10 – ґрунтово-рослинний шар;
- 11 – місця відбору проб, 12 – контури діючих кар'єрів, 13 – геолого-розвідувальні свердловини

дом виділяється дві різновидності гранітів і мігматитів – біотитових та амфібол-біотитових, а також гранодіорити і діорити [18].

Стратиграфічний розріз родовища має два різновікові комплекси геологічних утворень: нижній – докембрійський і верхній – кайнозойський [5, 6, 7] (рис. 2).

У межах родовища на кристалічних породах повсюдно розвинена кора вивітрювання [13]. У вертикальному розрізі в корі вивітрювання чітко просліджуються три зони (знизу вгору): зона дезінтеграції (жорстка кварц-польовошпатована), гідрослюдиисто-каолінітова зона, зона повної каолінізації [2].

На породах кори вивітрювання зі стратиграфічним неузгодженням залягають осадові породи кайнозою. Вони представлені сарматськими пісками та четвертинними суглинками [2, 12].

У структурно-тектонічному плані Павлівське родовище розташоване на західному схилі Христофорівської депресії, яка заповнена кайнозойськими відкладами і до якої тяжіє однойменне родовище бурого вугілля. В його будові бере участь комплекс пухких осадових утворень, починаючи з кори вивітрювання кристалічних порід до верхньочетвертинних і сучасних відкладів. Потужність осадового розрізу змінюється від 5 до 40 м, внаслідок різної глибини залягання кристалічних порід докембрійського фундаменту. Це особливо

характерно для північної частини родовища, яка відділена від південної виступом кристалічних порід [1, 3, 4, 17].

Загальний план залягання осадових порід відхиляється від субгоризонтального під впливом розчленованого рельєфу кристалічних порід докембрійського фундаменту має загальний нахил шарів на північ, у напрямку зони Девладівського розлому субширотного залягання [12] (рис. 2).

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є визначення особливостей літології, геохімії та можливості комплексного використання осадових відкладів у західному обрамленні Криворізького залізорудного басейну, на прикладі ділянки Павлівського родовища.

Задачі досліджень: 1) гранулометричні, мінералогічні та геохімічні дослідження кайнозойських осадових порід та кори вивітрювання докембрійських утворень; 2) побудова літологічних колонок та геологічного розрізу осадових порід; 3) визначення закономірності розподілення хімічних елементів у різних літологічних відмінах та у вертикальному розрізі осадової товщі.

Об'єкт та методи досліджень. Вивчено розріз осадових порід Павлівського родовища пісків (рис.3), розташованого у західній частині Криворізького басейну, на межі Криворізько-Кременчуцької структурно-формаційної зони та Західно-Інгулецького валу [1, 3, 4].



Рис. 3. Піщаний кар'єр, північна частина Павлівського родовища (відслонення №1)

Проби відібрані борозновим способом із боргтів відокремлених кар'єрів та відслонень родовища. Вивчення порід проводилось з використанням шліхового мінералогічного, гранулометричного та спектрального аналізу. Використовували магнітну, електромагнітну сепарації та розділення у бромформі, мікроскопічні дослідження (бінокуляр, петрографічний та рудний мікроскопи) [21]. Літологічні колонки та геологічний розріз побудовані за допомогою програм MapInfo та CorelDraw.

Результати

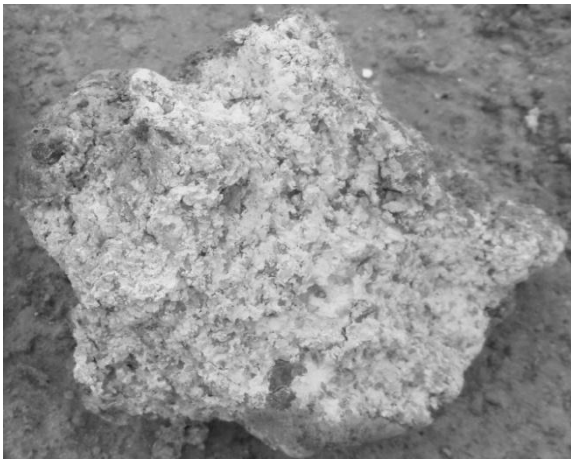
Автор вивчила розріз осадових порід родовища: первинних та вторинних каолінів (PZ-KZ), піщано-глинистої товщі(N), еолових суглинків (Q).

Літологія порід

Первинні каоліни- світло-сірі, сірі, рідше з зеленуватим відтінком з успадкованою текстурою і структурою материнських плагіограніт-мігматитів (рис. 4а). Головні мінерали: каолініт, кварц, біотит, мусковіт (серіцит), другорядні: каолінізований плагіоклаз, маршаліт. Акцесорні: апатит, циркон, ільменіт, монацит, магнетит, рутит, шерл, андалузит, пірит, епідот, гьотит, лімо-

ніт, лейкоксен. Польові шпати повністю або частково заміщені каолінітом та гідрослюдою. Кварц дезінтегрований, тріщинуватий, зцементований

гідрослюдино-каолінітовою масою. Потужність зони від 2,3 до 7,0 м.



а



б

Рис. 4. Первинні каоліни (проба П-2) з успадкованою текстурою та структурою докембрійських плагіогранітів (а), б- частково перевідкладені первинно-вторинні каолінові глини (проба П-8)

Вторинні каоліни - білі та світло-сірі, місцями підфарбовані гідроксидами заліза в жовтуваті, буруваті і червонуваті кольори (рис. 4б). Каоліни пористі неясношаруваті. Головні мінерали: каолініт, кварц, мусковіт (серицит), другорядні: плагіоклаз каолінізований, маршаліт, лімоніт. Важкі мінерали: апатит, циркон, пірит, монацит, епідот, шерл, андалузит, ільменіт, біотит, магнетит, рутил, лейкоксен, гетит. Породи шаруваті, пухкі. Макроскопічно виділяються верстви майже чистого каолініту потужністю до 30–50 см, що перешаровується з лінзами кварцового піску. Потужність товщі змінюється від 1-2 м на заході до 8-12 м у центральній та східній ділянках родовища (див. рис. 2).

На вторинних каолінах залягають морські відклади неогенової системи. Осадова товща розпочинається з верстви крупнозернистих кварцових пісків. Це світла крупнозерниста порода бі-

ло-сірого кольору. Головні мінерали: кварц, каолініт. Другорядні: гетит, маршаліт, шерл, біотит, лімоніт, плагіоклаз, монтморилоніт. Акцесорні мінерали: магнетит, гематит, рутил, ільменіт, лейкоксен, монацит, ставроліт, епідот, апатит, пірит. Потужність верстви 20-30 см. Вона поширена у північній частині родовища і виклинюється у південному напрямку (див. рис. 2).

Вище за розрізом залягає верства пісків з включеннями гідроксидів заліза (рис. 5а). Порода дрібнозерниста плямиста за рахунок нерівномірного розподілу ділянок жовтого та жовто-бурого кольору. Головні мінерали: кварц, каолініт, плагіоклаз; другорядні: гетит, хлорит, мусковіт, глауконіт. Акцесорні мінерали: магнетит, апатит, ільменіт, ставроліт, лейкоксен, гематит, шерл, рутил, циркон, біотит, хром-авгіт. Потужність верстви близько 10 м і зменшується у південному напрямку і досягає 0 (див. рис. 2).



а



б

Рис. 5. Відслонення осадових порід у північній частині родовища: а - піски із включеннями гідроксидів заліза (проба П-1); б - піски із домішкою бурої глини (проба П-5)

Наступна верства - піски із домішкою бурої глини (рис. 5б). Порода дрібнозерниста, має плямисту, іноді смугасту текстуру. Колір бурий, жов-

то-бурий. Головні мінерали: кварц, каолініт, плагіоклаз, гетит; другорядні: хлорит, мусковіт, біотит, хром-авгіт. Акцесорні мінерали: магнетит,

апатит, ільменіт, ставроліт, лейкоксен, гематит, шерл, рутил, глауконіт, циркон. Потужність верстви у північній частині близько 2-3 м та збільшується у південному напрямку до 15 м. У південній частині родовища верства переходить у дрібнозернисті піски з домішкою білої каолінової глини.

Піски з домішкою білої каолінової глини дрібнозернисті однорідні, іноді плямисті або смугасті (рис. 6 а, б). Колір світло-сірий, іноді з рудими від гідроксидів заліза плямами. Головні мінерали: кварц, каолініт, другорядні: хром-авгіт, біотит, маршаліт, кальцит, ставроліт, рутил, шерл, ільменіт, лимоніт. Акцесорні мінерали: сфен, магнетит, монацит, лейкоксен, апатит, пірит. Потужність верстви близько 15 м, присутня у південній частині родовища, обмежена виступом інгулець-

кого комплексу докембрійських плагіограніт-мігматитів у центральній його частині (див. рис. 2).

Завершують розріз осадових порід родовища товща четвертинних суглинків (див. рис. 2). Вони дрібнозернисті однорідні або плямисті. Колір – сіро-коричневий, місцями жовто- та червоно-коричневий. Головні мінерали: лимоніт, кварц, кальцит, маршаліт; другорядні: каолініт, мусковіт, біотит, вуглиста речовина, мусковіт, егірін, кліноцоїзит, ярозит, хризокола; акцесорні: рутил, ільменіт, ставроліт, циркон, монацит, лейкоксен, апатит, пірит, магнетит, гетит, шерл, альмандин, сфен. Суглинки поширені повсюдно. Потужність товщі коливається від 20 см на півночі до 5 м в центральній частині родовища (рис. 7).

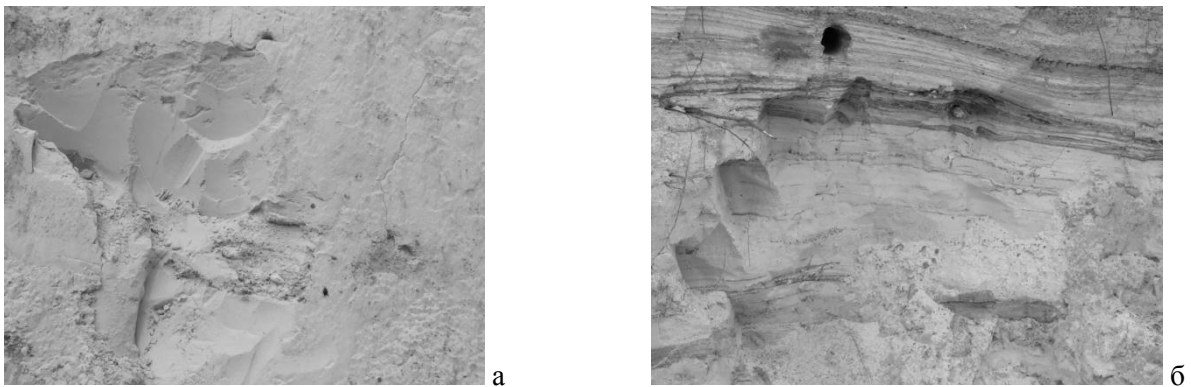


Рис. 6. Піски з домішкою каолінової глини: а – масивні та плямисті; б – смугасті

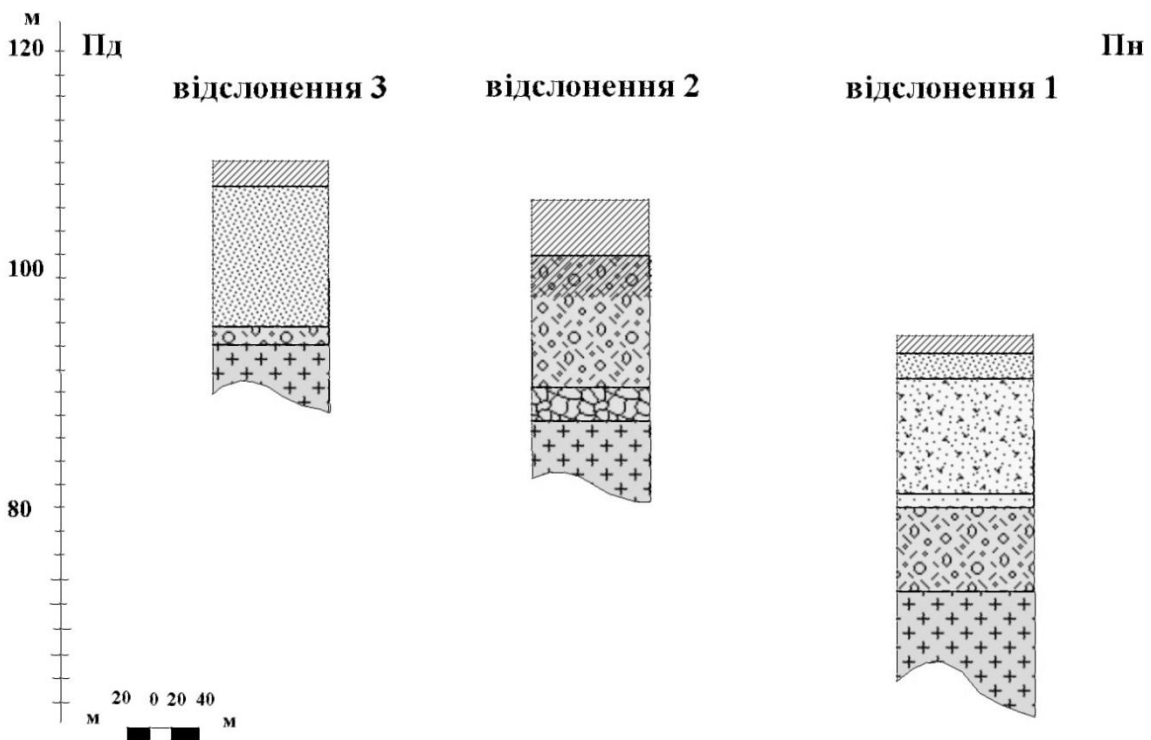


Рис. 7. Літологічні колонки осадових порід Павлівського родовища. Умовні позначення на рис. 2

Геохімічні особливості осадової товщі

За результатами емісійного спектрального аналізу (аналітик А.А. Таращан), більшість виявлених хімічних елементів концентруються у

корі вивітрювання докембрійських порід (проби П-2, П-3, П-8) і четвертинних суглинках (проба П-7). Накопичуються такі елементи як: Ni, Ti, V, Cr, Zr, Be, Y, Yb, Sc, Pb, Ga, Cu та La (рис. 8).

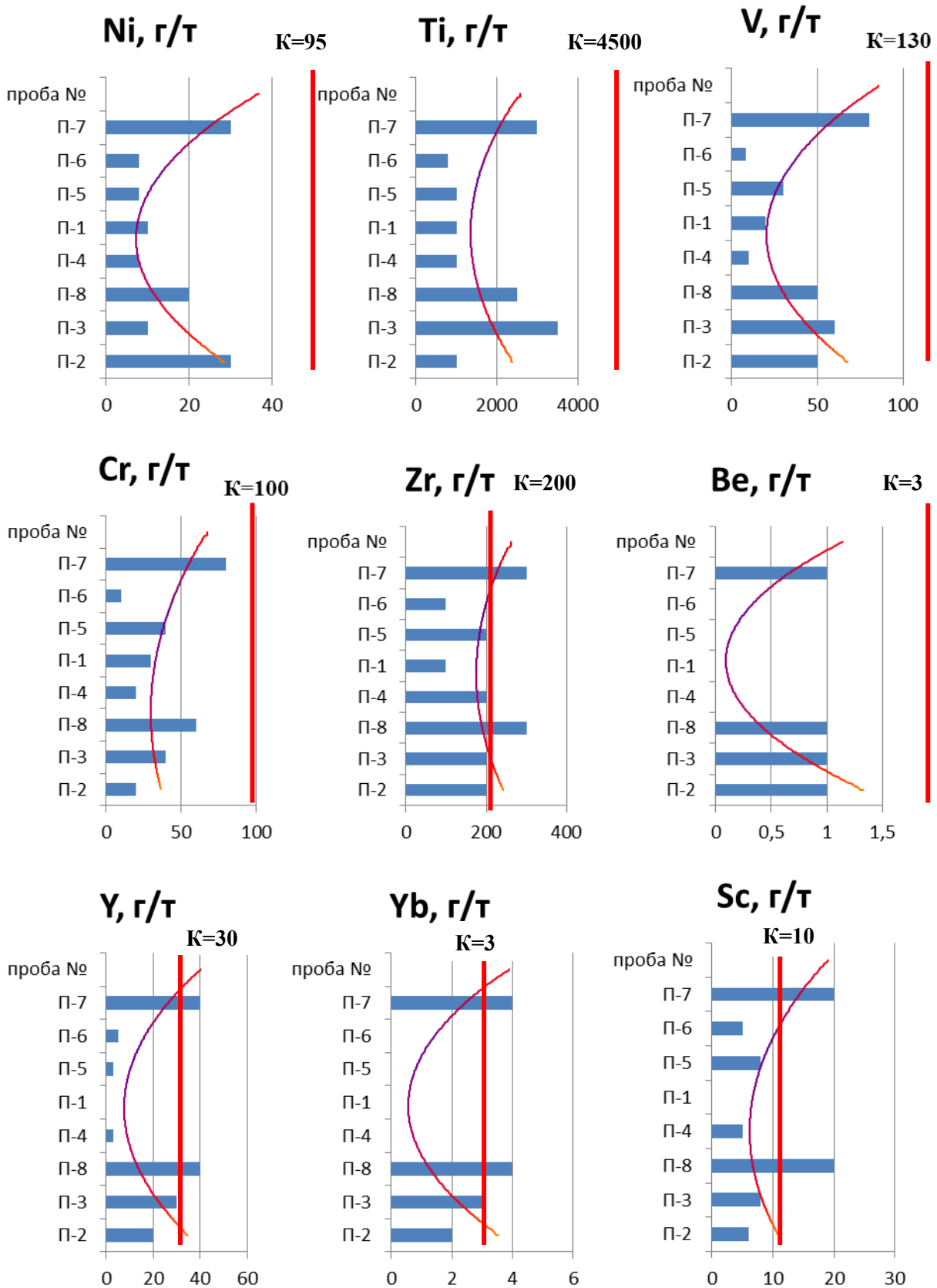


Рис. 8. Хімічні елементи, що накопичуються у корі вивітрювання та у четвертинних суглинках (K- кларк хімічного елемента в осадових породах за А. П. Виноградовим [8], г/т)

В неогенових пісках(проби П-4, П-1, П-5, П-6) виявлено накопичення лише Nb та Р(рис. 9).

Виключно у четвертинних суглинках (проба П-7) накопичуються Au і Mn (рис. 10).

Лише у породах кори вивітрювання (проби П-2, П-3, П-8) накопичуються Pb, La (з перевищенням кларку) та Ga. Вище за розрізом їх вміст зменшується (рис. 11).

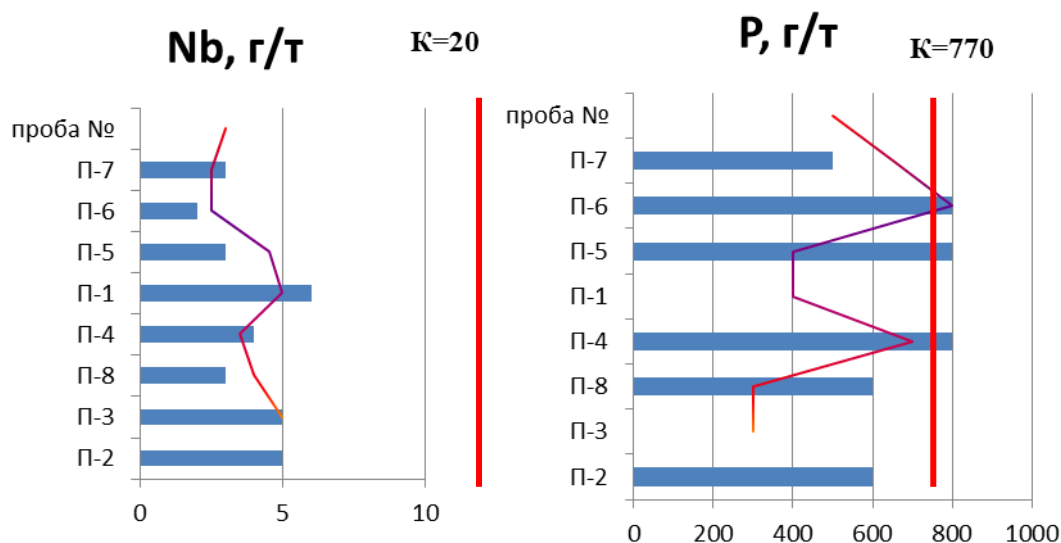


Рис. 9. Вміст Nb та P у породах Павлівського родовища (К- кларк хімічного елемента за А. П. Виноградовим [8], г/т)

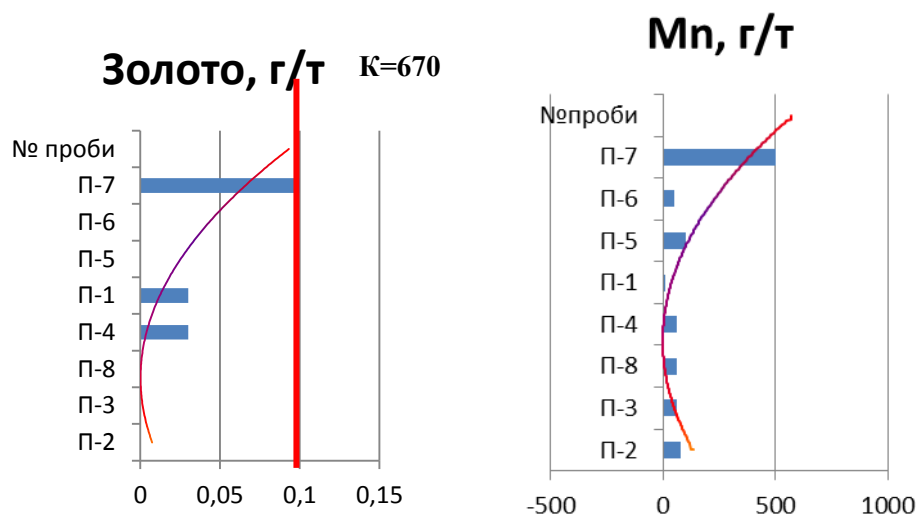


Рис. 10. Вміст Au та Mn у породах Павлівського родовища (К- кларк хімічного елемента за А. П. Виноградовим [8], г/т)

Майже у всіх породах в однаковій кількості зустрічаються Cu, Ag, Zn, Li, Ці елементи не мають літологічної чи хронологічної залежності у накопиченні та концентруються однаково на всіх етапах осадкоутворення. Bi, Sn, Ba, Ce, Co зустрічаються лише в окремих літологічних відмінах, що свідчить про достатню рідкість знаходження цих елементів у даному регіоні.

Обговорення результатів

Осадкові породи західної частини Кривбасу відображають тісний зв'язок із розломно-блоковою тектонічною будовою кристалічного фундаменту району. В зонах розломів другого, третього і більш високих порядків, що супроводжують Криворізько-Кременчуцький глибинний

розлом, інтенсивність денудації кристалічних порід підвищується, що приводить до збільшення потужності площадної кори вивітрювання і зменшенню осадового розрізу в цілому. Над підняттями блоками кристалічного фундаменту потужність кори вивітрювання і осадового розрізу за рахунок більш інтенсивного розмиву зменшується. З рис.2 видно, що виступ кристалічних порід у центральній частині території досліджень мав вплив на дві головні особливості розрізу: 1) породи кори вивітрювання в цій зоні більш денудовані і представлені трьома зонами (жорстково-щербениста, гідрослюдисто-каолінітова та власне каолінітова), в північній та південній зонах кора вивітрювання представлена лише гідрослюдисто-

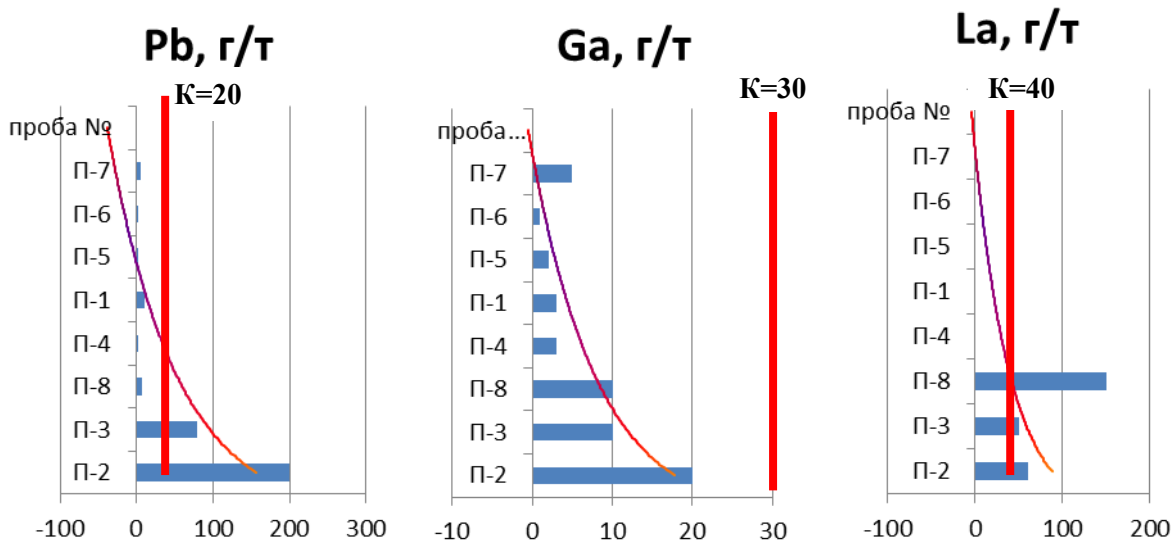


Рис. 11. Вміст Pb, Ga, Cu та La у породах Павлівського родовища (K- кларк хімічного елемента за А. П. Виноградовим [8], г/т)

каолінітовою; 2) підняття материнських порід також мало вплив на формування неогенових морських відкладів – південна та північна частина родовища мають різний літологічний та мінеральний склад.

Вміст хімічних елементів, що накопичуються, як правило перевищує кларк [8]. До них відносяться Pb, La (халькофільний та сідерофільний елементи за [9] відповідно) – у корі вивітрювання; Au (халькофільний) – в суглинках та пісках; P – у пісках (літофільний); Zr, Y, Yb, Sc (літофільні) – у суглинках та корі вивітрювання. Меншим за кларкові є вміст Ni, Ti, V, Cr, Be, Nb, Mn, Ga (див. рис. 8-11). Високий вміст широкого спектру домішкових елементів характерний для порід з високим вмістом пелітової компоненти: первинних і вторинних каолінів, суглинків, в меншій мірі глинистих пісків.

Більшість хімічних елементів мають закономірний характер розподілу у розрізі осадових порід. Ni, Ti, V, Cr, Zr, Be, Y, Yb, Sc накопичуються переважно у корі вивітрювання та в еолових суглинках (верхня та нижня частини осадового розрізу) та розсіюються у неогенових пісках (середній частині розрізу) (рис. 8–11). La, Pb, Ga – елементи, що значно переважають у нижній частині розрізу (корі вивітрювання) (рис. 11). Au та Mn мають свої максимуми у верхній частині розрізу (четвертинних еолових суглинках) (рис. 10). P та Nb переважають у середній частині розрізу (неогенових морських пісках) (рис. 9).

За даними [16], глинисті фракції ґрунтів та порід у порівнянні з піщаними звичайно містять більше V, Cr, Ni, Cu і менше SiO₂. У процесі вивітрювання сполуки Al та Fe утворюють колоїди,

у тому числі глинисті мінерали, а вище зазначені елементи легко сорбуються колоїдами та утримуються в глинах. Тому для Ti, Zr, Be, Y, Yb, Sc, Pb, Ga, Cu та La головним фактором розподілу в осадовому розрізі Західного Кривбасу, вірогідно, є сорбція їх глинами [11, 19, 20]. В первинних плагіограніт-мігматитах більшість вказаних елементів у складі акцесорних мінералів утворюють включення в зернах біотиту, мусковіту, рогової обманці та інших фемічних мінералів, що заміщуються каолінітом у корі вивітрювання. Вторинні глинисті мінерали, таким чином, збагачуються великою кількістю важких хімічних елементів.

Піски бідні на важкі хімічні елементи. В розрізі родовища вони збагачені лише фосфоромі ніобієм, рідше Ti, Zr та Gf – типовими складовими акцесорних мінералів гранітоїдних порід регіону, що слугували джерелами постачання мінеральної сировини до неогенових відкладів.

Золото та марганець до еолових суглинків були привнесені агентами вивітрювання з інших джерел у період континентального осадконакопичення. Тому слід звернути особливу увагу на можливість концентрації тонкого та лускуватого золота в четвертинних відкладах Криворіжжя.

За геохімічними та літологічними особливостями породи району досліджень поділяються на три різновікові групи (літолого-геохімічні зони): I – палеозой-кайнозойська кора вивітрювання; II – неогенові морські піски; III – еолові відклади четвертинного періоду (рис. 12). Для них притаманні відмінні умови утворення та мінеральний склад, що обумовлюють різний характер накопичення-розсіювання хімічних елементів.

Породи	Потужність, м	Умовні позначення	Літолого-геохімічні зони
Суглинки	0,5 - 4	П-7	Ш
Піски дрібнозернисті з домішкою білої каолінової глини	10-15	П-6	II
Піски дрібнозернисті з домішкою бурої глини	2-15	П-5	
Піски дрібнозернисті з домішкою гідроксидів заліза	0-10	П-1	
Піски крупнозернисті	0,2-0,3	П-4	
Каолінітові глини	2-12	П-8	I
Первинні каоліни	2,3-7	П-3 П-2	
Гідрослюдисто-каолінітова зона	15-20		
Жорства кварц-польовошпатована	5-10		
Ультраметаморфічні граніти та мігматити			

Рис. 12. Розташування літолого-геохімічних зон у розрізі порід досліджуваного району

Висновки.

1. Осадові породи західної частини Кривбасу відображають тісний зв'язок із розломно-блоковою тектонічною будовою кристалічного фундаменту району. В зонах розломів другого, третього і більш високих порядків, що супроводжують Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом, інтенсивність денудації кристалічних порід підвищується, що приводить до збільшення потужності площадної кори вивітрювання і осадового розрізу в цілому. Виступ докембрійських кристалічних порід у центральній частині території досліджень мав вплив на дві головні геологічні особливості розрізу: 1) породи кори вивітрювання в цій зоні більш денудовані і представлені трьома зонами (жорстково-щербенистою, гідрослюдисто-каолінітовою та власне каолінітовою), в північній та південній зонах кора вивітрювання представлена лише гідрослюдисто-каолінітовою; 2) підняття материнських порід

також мало вплив на формування неогенових морських відкладів – південна та північна частина родовища мають різний літологічний та мінеральний склад.

2. Неогенові відклади західної частини Криворізького залізорудного басейну мають мінливу потужність – від 5 до 45 м. Осадочний чохол розпочинається із палеозой-кайнозойської кори вивітрювання докембрійських плагіограніт-мігматитів інгулецького комплексу. Над корою вивітрювання залягають крупнозернисті та дрібнозернисті кварцові піски нижнього неогену, в окремих верствах з каоліновими глинами та гідроксидами заліза. Завершують розріз еолові суглинки четвертинного періоду.

3. Важливий вплив у металогенічну спеціалізацію порід осадочного комплексу внесли акцесорні мінерали: рутил, ільменіт, циркон, апатит та ін. В первинних плагіограніт-мігматитах більшість акцесорних мінералів утворюють

включення в зернах біотиту, мусковіту, роговій обманці та інших, що заміщуються каолінітом у корі вивітрювання. Вторинні глинисті мінерали, таким чином, збагачуються великою кількістю важких мінералів, які зустрічаються також в неогенових пісках.

4. Дослідження мінерального складу осадових порід родовища показали наявність у їх складі таких цінних мінералів як: каолініт, ставроліт, рутил, монацит, ільменіт, циркон. Розроблена у відділенні економічно-обґрунтована технологія розділення породи на мономінеральні фракції надає змогу отримати концентрати вище вказаних мінералів. Цей факт дозволяє розглядати осадові породи даного регіону як комплексну сировину.

5. Розподіл хімічних елементів в осадовому розрізі має виражений закономірний характер.

Встановлено суттєве накопичення широкого спектру хімічних елементів, що перевищують кларк за А.П. Виноградим [8](Zr, Y, Yb, Sc, Pb, La, Au) переважно у нижній та верхній частинках розрізу, збагачених глинистими компонентами. Здебільшого це літофільні елементи. Важливе пошукове значення може мати концентрація золота (100 мг/т) в четвертинних еолових суглинках району.

6. Виконані дослідження дозволяють розділити породи осадового чохла на три різновікові літолого-геохімічні зони: I - палеозой-кайнозойської кора вивітрювання з Pb, La, а також Zr, Y, Yb, Sc - металогенічною спеціалізацією; II- неогенові морські піски із накопиченням фосфору в акцесорному апатиті; III- еолові відклади четвертинного періоду з Au – металогенічною спеціалізацією.

Література

1. Акименко, Н. М. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Н. М. Акименко, Я. Н. Белевцев, Б. И. Горошников — М. : Госгеолтехиздат, 1957. — 280 с.
2. Белевцев, Р. Е. Минералогия Криворожского бассейна / Р. Е. Белевцев, Н. И. Бучинская, Д. К. Возняк — К. : Наук. думка, 1977. — 542 с.
3. Геология криворожских железорудных месторождений / Я. Н. Белевцев, Г. В. Тохтуев, А. И. Стрыгин и др. — К. : АН УССР, 1962.— Т. 1 — 484 с.
4. Белевцев, Я. Н. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Я. Н. Белевцев, Р. Я. Белевцев. — К. : Наук. думка, 1981. — 48 с.
5. Березовский, А. А. О местной стратиграфической схеме палеогеновых отложений Кривбасса. / А. А. Березовский // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. — 1998. — Т. 2, № 3. — С. 93-95.
6. Березовский, А. А. Местная стратиграфическая схема палеогена Криворожского бассейна / А.А. Березовский // Біостратиграфічні та палеоекологічні аспекти подійної стратиграфії. — К. : ІГН НАН України, 2000.— С. 43-45.
7. Березовский, А. А. Состав и строение кайнозойской толщи Глеватского месторождения Криворожского бассейна / А. А. Березовский, Ю. М. Бублик // Геолого-мінералогічний вісник. — Кривий Ріг, 2001.— №1. — С. 66-77.
8. Виноградов, А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре: Геохимия. / А. П. Виноградов. — М., 1956. — № 1. — С. 6-52.
9. Гольдшмидт, В. М. Сборник статей по геохимии редких элементов / В. М. Гольдшмидт. — М., 1938.
10. Казаков, В. Л. Природнича географія Кривбасу / В. Л. Казаков, І. С. Паранько, Н. Г. Сметана — Кривий Ріг : видавництво КДПУ, 2005. — 156 с.
11. Коржнев, М. Н. Ресурсні та екологічні критерії визначення асиміляційного потенціалу геологічного середовища на прикладі гірничих районів України / М.Н. Коржнев, М.М. Курило, Н.В. Захарій // Вісник Томського державного університету. — 2014. — №3 (87). — С. 243-252.
12. Кузнецов, В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение / В. Г. Кузнецов. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. — 511 с.
13. Макаренко, Д. Е. Палеогенові відклади північно-західної частини Українського кристалічного щита / Д.Е. Макаренко // Геологічний журнал. — 1959. — №1. — С. 47-56.
14. Малахов, И. Н. Новая геологическая сила / И. Н. Малахов; НАН Украины, Отд-ние мор. геологии и осадоч. рудообразования. — Кривой Рог, 2009. — 312 с.
15. Паранько, И. С. Некоторые особенности развития Криворожской структуры / И. С. Паранько // Геологический журнал. — Киев, 1993. - №4.- С. 112-133.
16. Перельман, А. И. Геохимия: учебное пособие для геологических специальностей университетов / А. И. Перельман. — М. : Высшая школа, 1979. — 423 с.
17. Стеценко, А. І. Основні джерела та чинники техногенного впливу на осадові породи центральної частини Кривбасу / А. І. Стеценко, В. В. Іванченко // East European Scientific Journal. — 2016. — №12, част. 1. — С. 39-46.
18. Троценко, В. Н. Плагиогранит-мигматитовые комплексы Криворожско-Кременчугской зоны и малые субщелочные гранитоидные интрузии / В. Н. Троценко // Геологическое строение и перспективы рудоносности Кривого Рога на больших глубинах. — К. : Наук. думка, 1973. — С. 29 — 31.
19. Холодов, В. Геохимія осадового процесу/ В Холодов. — М. : "Geos", 2006. — 608 с.

20. Щербак, Н. П. *Изотопная геология Украины / Н. П. Щербак, Е. Н. Бартницкий, И. П. Луговая. — К. : Наук. думка, 1981. — 247 с.*
21. *Зміни у процесі седиментації річок, викликані впливом сучасної системи України: матеріали третього пленарного засідання та польової поїздки з Каспію до Середземномор'я: зміни навколишнього середовища та реакції людини під час четвертинного періоду, 22-30 вересня 2015 р. Астрахань (Росія) / Астрахань: Проєвропейці, 2015. — С. 91-96.*
22. *Формовочный материал для литейного производства из строительных песков Криворожья : Материалы XVIII научно-технической конференции молодых специалистов, 2004 г. Кривой Рог. — С. 17 – 18.*

UDC 552.517 (477.63)

Alyona Stetsenko,

PhD student, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Marine Geology and Sedimentation ore formation, Kryviy Rih Department of Environmental Geology and Development of ore deposits, Pushkin st., 37a, Kryviy Rih, 50002, Ukraine,
e-mail: stetsenkoaliona@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8262-0603>

LITHOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTARY ROCKS IN PAVLIVSK FIELD IN THE WESTERN PART OF THE KRYVIY RIH STRUCTURE

The purpose of the paper is to determine the features of lithology, geochemistry and the possibilities of complex use of sedimentary deposits in the western framing of Kryviy Rih iron ore basin on the example of Pavlivsk deposit.

The obtained new data allowed us to establish the significant influence of age, structural and genetic factors on the lithological composition and metallogenic specialization of sedimentary formations on the area. A close connection of sedimentary rocks with fault-block tectonic structure of the crystalline basement of the region is established. The sedimentary cover begins with the Paleozoic-Cenozoic crust weathering of Precambrian plagiogranite-migmatites of the Inguletsk complex. Above the weathering crust there are coarse-grained and fine-grained quartz sand of the lower Neogene, in separate layers with kaolinite clays and iron hydroxides. Important influence on the metallogenic specialization of the sedimentary complex rocks was made by accessory minerals: rutile, ilmenite, zircon, apatite and others. Secondary clay minerals are enriched with a large number of heavy minerals, which also occur in Neogene sands. Significant accumulation of a wide range of chemical elements (Zr, Y, Yb, Sc, Pb, La, Au) is found mainly in the lower and upper parts of the section enriched with clay components.

Scientific novelty. The performed researches allowed us to divide the rock of a sedimentary cover into three age-old lithologic-geochemical zones: I - Paleozoic-Cenozoic weathering crust; II - Neogene sea sands with accumulation of phosphorus in actuator apatite; III - eolian deposits of the Quaternary period with Au - metallogenic specialization.

Practical relevance of the research. The new data concerning lithology, mineral composition and geochemistry of sedimentary rocks of the western part of Kryviy Rih structure has an important scientific significance. An important search value is the concentration of gold (100 mg / t) in Quaternary eolian loam of the area.

Keywords: Pavlivsk deposit, sedimentary rocks, Kryviy Rih structure, crystalline foundation, lithology, mineral composition, geochemistry, chemical elements.

References

1. Akimenko, N. M., Belevtsev, Ya. N., Goroshnikov, B. I., Belevtsev Ya. N. (1957). *Geological structure and iron ores of Kryviy Rih basin. Moscow, 280. [in Russian].*
2. Belevtsev, R. E., Buchinskaya, N. I., Wozniak, D. K., et al. (1977). *Mineralogy of the Krivoy Rog basin. Kyiv, 542. [in Russian].*
3. Belevtsev, Ya. N., Tokhtuev, G.V., Strygin, A. I., et al. (1962). *Geology of the Krivoy Rog Iron Ore Deposits. Kyiv, 484. [in Russian].*
4. Belevtsev, Ya. N., Belevtsev, R. Ya. (1981). *Geological structure and iron ore of the Krivoy Rog basin. Kyiv, 48. [in Russian].*
5. Berezovsky, A. A. (1998). *About the local stratigraphic scheme of Paleogene deposits of Kryvbas. Collected scientific works of the National Mining Academy of Ukraine. Dnipropetrovsk, 93-95. [in Russian].*
6. Berezovsky, A. A. (2000). *Local stratigraphic scheme of the Paleogene of the Krivoy Rog basin. Biostratigraphic and paleoecological aspects of sub-stratigraphy. Kyiv, 43-45. [in Russian].*

7. Berezovsky, A. A., Bublik, Yu. M. (2001). *Composition and structure of the Cenozoic sequence of the Gleevat deposit of the Krivoy Rog basin. Geologo-mineralogicheskii visnik. Kryviy Rih*, 66-77. [in Russian].
8. Vinogradov, A. P. (1956). *Regularities in the distribution of chemical elements in the earth's crust. Geochemistry. Moscow*, 6-52. [in Russian].
9. Goldschmidt, V. M. (1938). *Collection of articles on the geochemistry of rare elements. Moscow*. [in Russian].
10. Kazakov, V. L., Paranko, I. S., Smetana, N. G., and al. (2005). *The natural geography of Krivbass. Kryviy Rig*. [in Ukrainian].
11. Korzhnev, M. N., Kurilo, M. M., Zahariy, N. V. (2014). *Resource and ecological criteria for determining the assimilation potential of the geological environment by the example of the mining regions of Ukraine. Bulletin of Tomsk State University*, 243-252. [in English].
12. Kuznetsov, V. G. (2007). *Lithology. Sedimentary rocks and their study. Moscow*, 511. [in Russian].
13. Makarenko, D. E. (1959). *Paleogens in the pits of the part of the Ukrainian crystal shield. Geological journal*, 1, 47-56. [in Ukrainian].
14. Malakhov, I. N. (2009). *New geological force. Krivoy Rog*, 312. [in Russian].
15. Paranko, I. S. (1993). *Some features of the development of the Krivoy Rog structure. Geological Journal. Kyiv*, 112-133. [in Russian].
16. Perelman, A. I. (1979). *Geochemistry: Textbook for geological specialties of universities. Moscow: Higher School*, 423. [in Russian].
17. Stetsenko, A. I., I.Vanchenko, V. V. (2016). *The main sources and factors of technogenic influence on sedimentary rocks of the central part of Kryvbas. East European Scientific Journal*, 12 (1), 39-46. [in Ukrainian].
18. Troschenko, V. N. (1973). *Plagiogranite-migmatite complexes of the Krivoy Rog-Kremenchug zone and small sub alkaline granitoid intrusions. Geological structure and prospects of the Kryviy Rih's ore at large depths. –Kyiv: Naukova dumka*, 29 - 31. [in Russian].
19. Cholodov, V. (2006). *Geochemistry of the sedimentary process. Moscow. "Geos"*, 608. [in English].
20. Scherbak, N. P., Bartnitsky, E. N.; Lugova, I.P. (1981). *Isotopic geology of Ukraine: monograph. – Kyiv: Scientific Opinion*, 247. [in Russian].
21. *Changes in river sedimentation caused by the influence of the modern system of Ukraine. Third Plenary Conference and Field Trip From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary. Astrakhan, Russia 22-30 September 2015. Proceedengs*, 91-96. [in English].
22. *Molding material for foundry production from construction sand of Krivoy Rog: Materials of the XVIII Scientific and Technical Conference of Young Professionals. Krivoy Rog, 2004*, 17 – 18. [in Russian].

В'ячеслав Валерійович Стеценко,

к. геол. н., доцент,

кафедра геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет,

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

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

Вікторія Юрївна Осипчук,

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

e-mail: vika.zav.2012@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9157-3506>

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ МАСИВІВ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО КАРТУВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ГПМ РОДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ СКЕЛЮВАТСЬКОГО РОДОВИЩА)

У статті розглянута можливість використання сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій для розробки комплексної методики геометризації масивів залізистих кварцитів за результатами геолого-структурного картування. Метою роботи є вдосконалення ГПМ (геолого-промислової моделі) залізистих родовищ (на прикладі Скелюватського родовища). Для розробки цієї методики була побудована ГПМ родовища з урахуванням даних геолого-структурного картування і зроблений її порівняльний аналіз з існуючою ГПМ, яка використовується на підприємстві. Результати аналізу показали, що використання інформації з геолого-структурного картування і внесення її у геологічну базу даних вдосконалює ГПМ Скелюватського родовища. Така модель суттєво відрізняється від існуючої ГПМ. Однією з головних відмінностей це форма і характер контакту між продуктивною та нерудною товщами. На існуючій моделі контакт між четвертим залізистим і сланцевим горизонтом представлений лінією тренду, а на новій побудованій моделі контакти мають чітку складчасту форму. Складчастий характер контакту дозволяє проводити достовірне прогнозування показників у елементарних блоках і зменшити похибку у підрахунку запасів руди. Деталізоване відображення геології у новій побудованій ГПМ підвищує ефективність геометризації масивів залізистих кварцитів.

Ключові слова: Скелюватське родовище, залізородні родовища, геолого-структурне картування, геометризація масивів, геолого-промислова модель, моделювання, складчастість.

В.В. Стеценко, В.Ю. Осипчук. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МАССИВОВ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО КАРТИРОВАНИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. В статье рассмотрена возможность использования современных информационно-компьютерных технологий для разработки комплексной методики геометризации массивов железистых кварцитов по результатам геолого-структурного картирования. Целью работы является усовершенствование ГПМ (геолого-промышленной модели) железистых месторождений (на примере Скелюватского месторождения). Для разработки данной методики была построена ГПМ месторождения с учетом данных геолого-структурного картирования и сделан ее сравнительный анализ с существующей ГПМ, которая используется на предприятии. Результаты анализа показали, что использование информации с геолого-структурного картирования и внесение ее в геологическую базу данных усовершенствует ГПМ Скелюватского месторождения. Такая модель существенно отличается от существующей ГПМ. Одним из главных отличий это форма и характер контакта между рудной и нерудной толщами. На существующей модели контакт между четвертым железистым и сланцевым горизонтом представлен линией тренда, а на новой построенной модели контакты имеют четкую складчатую форму. Складчатый характер контакта позволяет проводить достоверное прогнозирование показателей в элементарных блоках и уменьшить погрешность в подсчете запасов руды. Детализированное отображение геологии в новой построенной ГПМ повышает эффективность геометризации массивов железистых кварцитов.

Ключевые слова: Скелюватское месторождение, железородные месторождения, геолого-структурное картирование, геометризация массивов, геолого-промышленная модель, моделирование, складчатость.

Постановка проблеми. Розвідані запаси родовищ Криворізького залізородного басейну складають найбільшу частку (68,5%) від загальних запасів залізних руд України. На сьогоднішній день у Кривбасі розробляються понад 20 залізистих родовищ, які забезпечують країну мінеральною сировиною.

Згідно з Кодексу України «Про надра» одними із його вимог є забезпечення раціонального, комплексного використання надр на всіх технологічних етапах розробки родовищ твердих корисних копалин [18]. Сучасні економічні відносини змушують підвищувати вимоги до якості, повноти обробки, достовірності запасів і комплексному використанню корисних копалин. За таких умов, рішенням поставлених задач є не лише повнота і достовірність інформації про конкрет-

ний об'єкт, але і можливість оперативного використання інформації для поточного і перспективного планування гірничих робіт. Під час вирішення виробничих питань, доводиться обчислювати велику кількість вихідних даних, які представляють собою цифрову базу даних, що постійно оновлюється, піддається змінам та вимагає аналізу і математичної обробки.

Аналіз роботи гірничодобувних підприємств показав, що більшість завдань, пов'язаних з процесом видобутку та переробки корисної копалини носить універсальний характер і може бути виконаний на основі побудови геолого-промислової моделі родовища (ГПМ). Такі моделі створюються для управління якістю руди на залізородних родовищах. Але не всі ці моделі вирішують поставлені задачі і є досконалими.

Відсутність у базі даних інформації з геолого-структурного, геолого-мінералогічного, геолого-технологічного картування родовищ, які на поточний час не проводяться на більшості родовищ, зменшує достовірність побудови ГПМ. Тому задача підвищення достовірності ГПМ за рахунок більш детальної геометризації рудних покладів з оптимізацією напряму розвитку фронту гірничих робіт є досить актуальною.

Аналіз попередніх досліджень. Геолого-структурне картування порід має вирішальне значення для видобування корисної копалини з масиву і формування видобувних технологічних сортів руд. Найбільш активно і послідовно вивчення геологічної будови родовищ бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) Кривбасу проводилося протягом початкового періоду їх експлуатації в 60 – 70х роках ХХ століття [1, 3, 4, 11, 14]. У той час кар'єрами були розкриті лише верхні горизонти родовищ, де залягали окисненні і частково не окисненні кварцити і сланці. Важливим внеском у вивченість будови залізистих родовищ було запровадження методики геолого-структурного картування. Методика геолого-структурного картування залізистих кварцитів криворізького типу була розроблена М.І. Черновським (1968), апробована і впроваджена спільно з А.С.Журавлевым в практику експлуатаційних геолого-розвідувальних робіт. Завдяки запровадженню цієї методики було проведено геолого-технологічне картування залізистих родовищ (у тому числі і Склеюватського), складені геолого-технологічні карти, досліджена мінералогія, хімічний і фазовий склад підгоризонтів стратиграфічного розрізу [9, 16, 17, 19, 20].

У подальші роки кар'єри інтенсивно розвивались, масові вибухи ускладнювали картування «не зчищених» горизонтів. Таким чином геолого-структурне, геолого-мінералогічне, геолого-технологічне картування родовищ проводилось епізодично в окремі роки та на окремих ділянках.

В даний час проектування видобувних робіт на залізородних родовищах Кривбасу здійснюються за даними детальної та експлуатаційної розвідки без застосування геологічного картування родовищ. Достовірна інформація про контакти порід, тріщинуватість і будову родовища дозволяє визначати вміст і вихід Fe_{mgt} , раціонально визначити напрям і переміщення фронту гірничих робіт кар'єру, визначити комплекси обладнання для видобування і переробки корисної копалини, що може бути виконано на основі побудови геолого-промислової моделі родовища. Такі моделі використовуються підприємствами не лише в Україні, але і закордонними ГЗК, наприклад Ірбінським, Казьким залізородними родовищами [10].

Мета і задачі досліджень. Головною метою є розробка узагальненої методики геометризації масивів залізистих кварцитів за результатами геолого-структурного картування з метою вдосконалення геолого-промислової моделі родовищ Кривбасу в цілому і Склеюватського родовища зокрема. Відображення структури геологічного простору та рішення задачі моделювання блокової структури, об'ємних полів. З відтворенням меж продуктивної товщі, контактів гірських порід і внутрішньої структури родовища.

Матеріали і методи. Для розробки методики геометризації масивів залізистих кварцитів була побудована ГПМ Склеюватського родовища за результатами геолого-структурного картування та проведено порівняльний аналіз з існуючою ГПМ. Використана існуюча база даних геолого-промислової моделі Склеюватського родовища та результати геолого-структурного картування Склеюватського родовища 2011-12 рр. На основі цих даних проводився аналіз ефективності геометризації масивів залізистих кварцитів.

Виклад основного матеріалу. Склеюватське родовище, знаходиться в Криворізькому залізородному басейні, розташованому в центральній частині Українського щита і приурочене до району замикання Західно-Інгулецької синклінальної складки другого порядку, яка є складовою частиною Основної Криворізької синклінали першого порядку [1, 3, 4]. В геолого-структурному відношенню Склеюватське родовище представляє собою нормальний чи обернений синклінорій.

Склеюватське родовище складене метаморфічними породами саксаганської світи (PR1sx) криворізької серії нижнього протерозою, яка представлена перешаруванням сланцевих та залізистих горизонтів [11, 14]. Продуктивною товщею родовища є четвертий залізистий горизонт (PR1sx4f). Родовище характеризується складною геологічною будовою, контакти гірських порід ускладнені складчастістю і тектонічними порушеннями, а саме Тарапаківським, Єкатерининським та Склеюватським розломами [7]. Контакти порід мають складну складчасту форму і залежать від морфологічних особливостей складок третього порядку (рис. 1), які ускладнені складками четвертого порядку у замковій частині.

Складки третього порядку мають асиметричну, симетричну, ізоклінальну форму. Асиметричні складки характерні для західної частини родовища, а похилі та з перекинутим заляганням для східної частини [12, 13]. У центральній частині переважають симетричні прямі складки гострокутної форми. Амплітуда складок становить близько 15-16м, що відповідає висоті уступу кар'єру, а ширина 12-14 м. Деякі замки складок мають зубчасту форму з мало амплітудних складок. Також, замки і крила окремих складок уск-



Рис. 1. Складчастість Скелюватського родовища

ладнені дисгармонійними складками або складками волочіння.

Отже детальне дослідження геологічної структури родовища та, відповідно, складання на її основі різноманітних маркшейдерських і геологічних планів, карт та розрізів є не тільки теоретичним інтересом, але й має важливе практичне значення при вирішенні багатьох геологічних та гірничо-технологічних завдань, які безпосередньо пов'язані з експлуатацією родовища.

З точки зору ГІС-аналізу задача геометризації масивів залістистих кварцитів є вивченням за-

кономірностей розподілу геологічних об'єктів (тріщин, складок) на площі родовища. Створення відповідного розширення, що містить ряд скриптів з простими алгоритмами, дозволяє істотно спростити, прискорити та автоматизувати процедуру аналізу[2, 15].

На сьогоднішній день ГПМ Скелюватського родовища будується на основі геолого-технологічних, хімічних та гірничих даних (рис. 2).

Побудова геологічно-промислової моделі відбувається у чотири етапи (рис. 3).

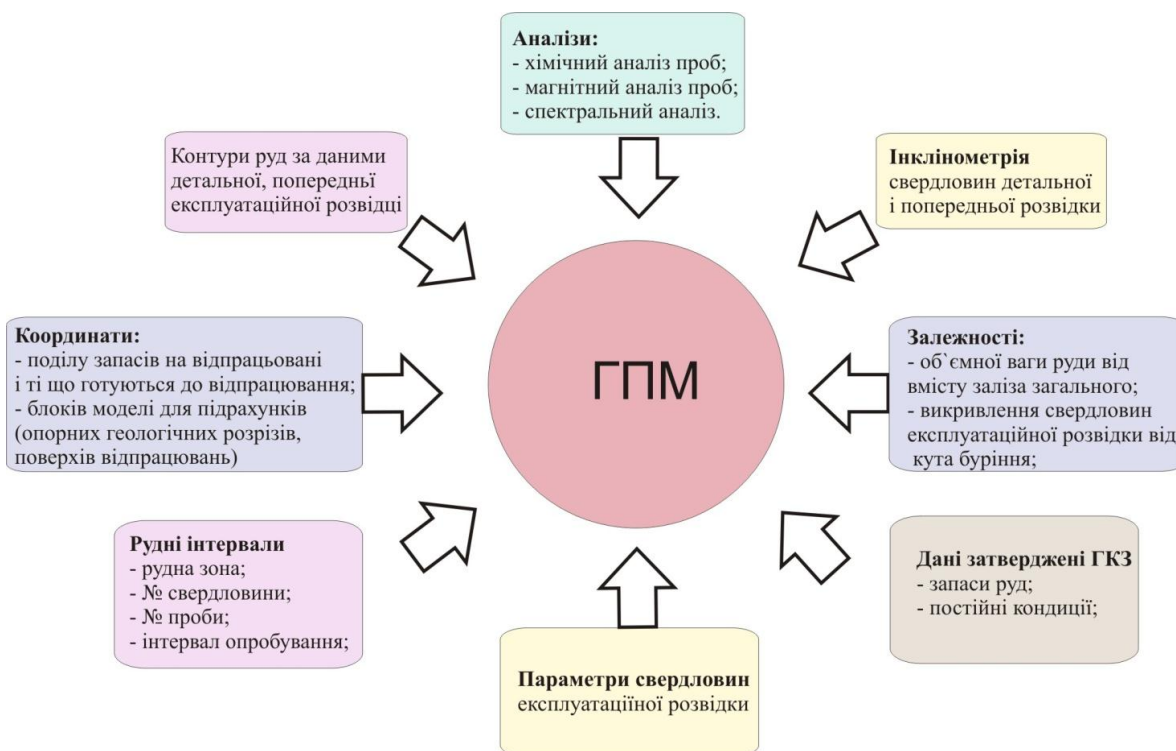


Рис. 2. Схема створення геолого-промислової моделі

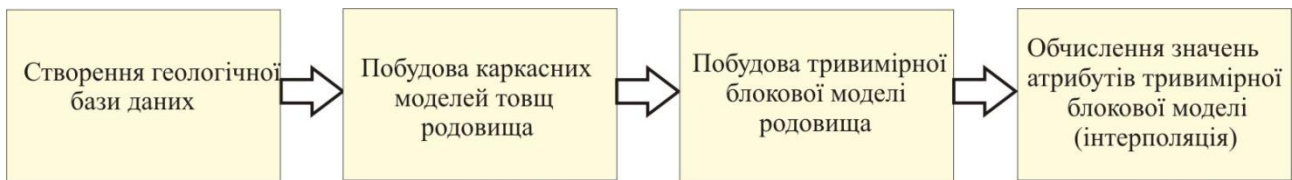


Рис. 3. Етапи моделювання Скедловатського родовища

На першому етапі створюється геологічна база даних. Вона є основою всіх побудов і подальших розрахунків, підрахунків запасів і т.д. Інформація вноситься в базу даних у вигляді таблиць. Кожна таблиця містить кілька полів даних, обов'язковими з яких є: координати гирла свердловин і таблиця для зберігання інформації по викривленню свердловин (інклінометрія). Гірничо-геологічні дані і дані проб зберігаються в так званих додаткових таблицях. Зазвичай це таблиці інтервальні (Глибина «від» і «до»), точкові (глибина «до» і дискретна (точкові дані).

Сукупності усіх цих даних достатньо для побудови геологічних розрізів, підрахунків запасів,

планування, введення робіт і каркасного моделювання родовища.

Після обробки геологічних даних, будується тривимірний блочний модель Скедловатського родовища. Мінімальним осередком збору інформації є елементарний блок (рис. 4). Елементарні блоки, обмежуються у просторі по вертикалі двома суміжними експлуатаційними горизонтами (ступами), а по горизонталі двома суміжними розвідувальними профілями в межах одного рудного тіла. Елементарний блок містить інформацію про запаси, вміст корисного компоненту, шкідливі домішки, фізико-механічні властивості руд і гірських порід [6].

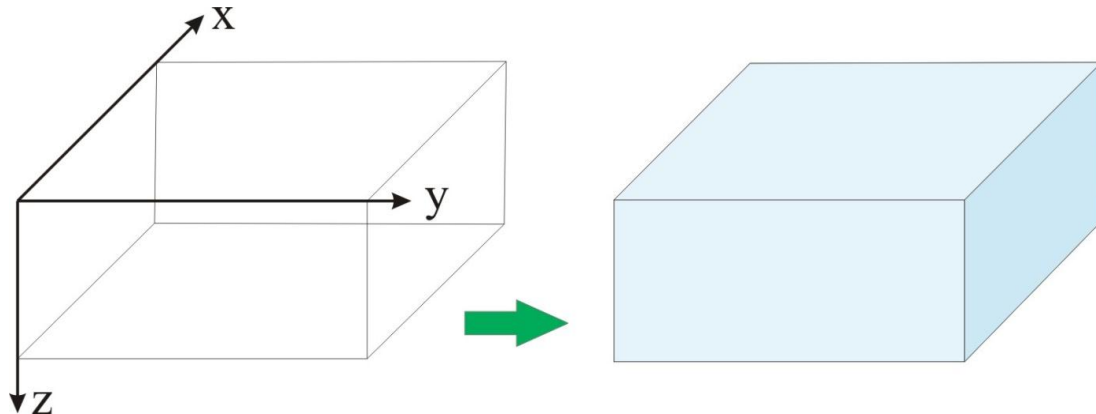


Рис. 4. Елементарний блок

Сукупність цих елементарних блоків складає геолого-промислову модель родовища, яка використовується на поточний час.

Отримана блочна модель дозволяє прогнозувати роботу кар'єру в межах елементарних блоків. Однак в останній час отриманий прогноз по елементарних блоках не підтверджується при розробці блоку. Особливо це характерно для блоків, які розташовані в межах контактів рудних та безрудних прошарків, або у межах різкої зміни показників рудного покладу (рис. 5). В існуючу базу даних межі контактів вносяться аналітичним методом інтерполяції або екстраполяції даних детальної та експлуатаційної розвідки.

На стадії експлуатації родовища вимоги, що до повноти і достовірності геологічної інформації для поточного і перспективного планування гірничих робіт досить високі. Усі дані, що вносяться до ГПМ мають високу точність завдяки новітнім технологіям. Так маркшейдерські дані, отриманні за допомогою електронного тахеометру, мають похибку до 1,0-3,0 мм, хімічні аналізи

рядових проб заліза загального та пов'язаного з магнетитом визначаються з похибкою від 0,2 до 0,8 %. Враховуючи постійне вдосконалення отримання інформації для побудови ГПМ існує необхідність підвищення достовірності геологічної інформації, це можливо за рахунок внесення даних геолого-структурного картування у ГПМ, що дозволить підвищити точність відображення контактів рудних та безрудних прошарків.

На всіх кар'єрах Кривбасу існує можливість простежування контактів порід, при виконанні геолого-структурного картування, безпосередньо у кар'єрі з інструментальною прив'язкою та внесенням отриманої інформації у базу даних. Проведення геолого-структурного картування дозволяє змінити прогноз по елементарних блоках. На поточний час такі роботи не проводяться. Згідно з інструкцією по проведенню експлуатаційної розвідки залісистих кварцитів це необхідно робити кожні 5 років. Результати геолого-структурного картування дозволяють уточнити внутрішню геологічну будову родовища, а саме

його структуру (напрямок тектонічних порушень, характер складчастості, тріщинуватості, точність контактів), підвищити точність підрахунку запасів, прогнозувати і планувати експлуатаційні роботи.

На рис. 5, показано наскільки відрізняється отримана інформація по елементарному блоку без даних геолого-структурного картування рис. 5а і з їх урахуванням рис. 5б.

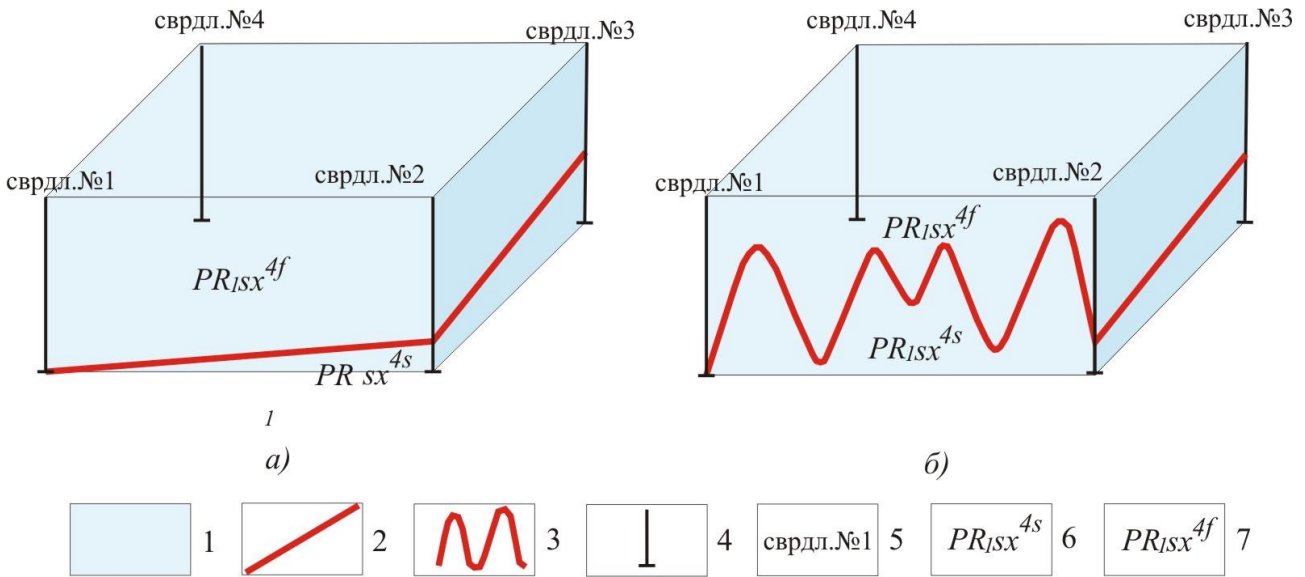


Рис. 5. Елементарні блоки геолого-промислової моделі Скелюватського родовища:

а) без даних геолого-структурного картування; б) з урахуванням даних геолого-структурного картування; 1 – елементарний блок; 2 – контакт між продуктивною товщею і вмивною породою; 3 – контакт складчастої форми між продуктивною товщею і вмивною породою; 4 – свердловина; 5 – номер свердловини; 6 – четвертий сланцевий горизонт; 7 – четвертий залістий горизонт

В першому випадку, контакт між четвертим залістим і сланцевим горизонтом визначається за даними буріння і результатами хімічного аналізу на вміст заліза. Елементарний блок ГПМ побудований аналітичним методом інтерполяції відокремлює контакт порід, усередненою рівною лінією і автоматично вносить даний блок у підрахунок запасів. Такий підхід призводить до некоректності і не точності розташування контакту рудної товщі родовища. Кардинально змінюють геологічне уявлення про структуру порід – дані геолого-структурного картування з яких видно, що контакт порід має певну форму і характеризується чіткою складчастістю. Точність побудови ГПМ залежить також і від часткового відсотку. Частковий відсоток є важливим параметром, який вказує на те, яка відсоткова частина блоку (перетинається геометричним об'єктом) і знаходиться нижче або вище, всередині або зовні елементарного блоку. Геологічні плани, побудовані за допомогою геолого-структурного картування, дозволяють більш достовірно визначити частковий відсоток. Якщо центр елементарного блоку лежить всередині каркасної моделі ГПМ то блок буде повністю включений в підрахунок рис. 6а. У той же час частина блоків з рудним вмістом буде з підрахунку виключена, якщо їх центри розташовані поза каркасної моделі рис. 6б. Точне визначення орієнтації лінійних елементів (контак-

тів порід, розривних порушень то що) дозволяє вносити до ГПМ показник часткового відсотку з більшою достовірністю. А також дозволяє проводити обчислювання часткового відсотку, програмним пакетом з меншою кількістю дроблення елементарних блоків на тимчасові віртуальні су-бблоки [5, 6, 8].

З урахуванням виконаного геолого-структурного картування Скелюватського родовища у 2011-2012 рр, авторами роботи була побудована геолого-промислова модель (рис. 7б), у якій елементарні блоки були виділені за вище описаною методикою. Порівнюючи отриману модель з існуючою (рис. 7а) геолого-промисловою моделлю Скелюватського родовища були зроблені наступні висновки:

- Існуюча ГПМ Скелюватського родовища не відображає складність геологічної будови продуктивної товщі родовища.
- Геологія сучасної моделі представлена схематично що призводить до неточності відображення дійсності і зменшує ефективність геометризації гірських масивів.
- На існуючій моделі контакт між четвертим залістим і сланцевим горизонтом представлений лінією тренду, що не дозволяє проводити достовірно прогнозування показників у елементарних блоках.

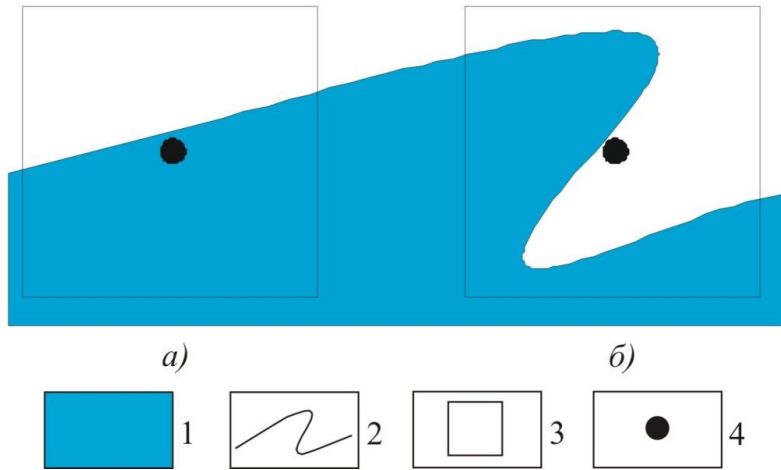


Рис. 6. Приклад включення блоків у підрахунок запасів:
 а) – частковий відсоток не використаний; б) – частковий відсоток дорівнює 50.
 1 – рудне тіло; 2 – границі рудного тіла; 3 – елементарний блок; 4 – центр елементарного блоку

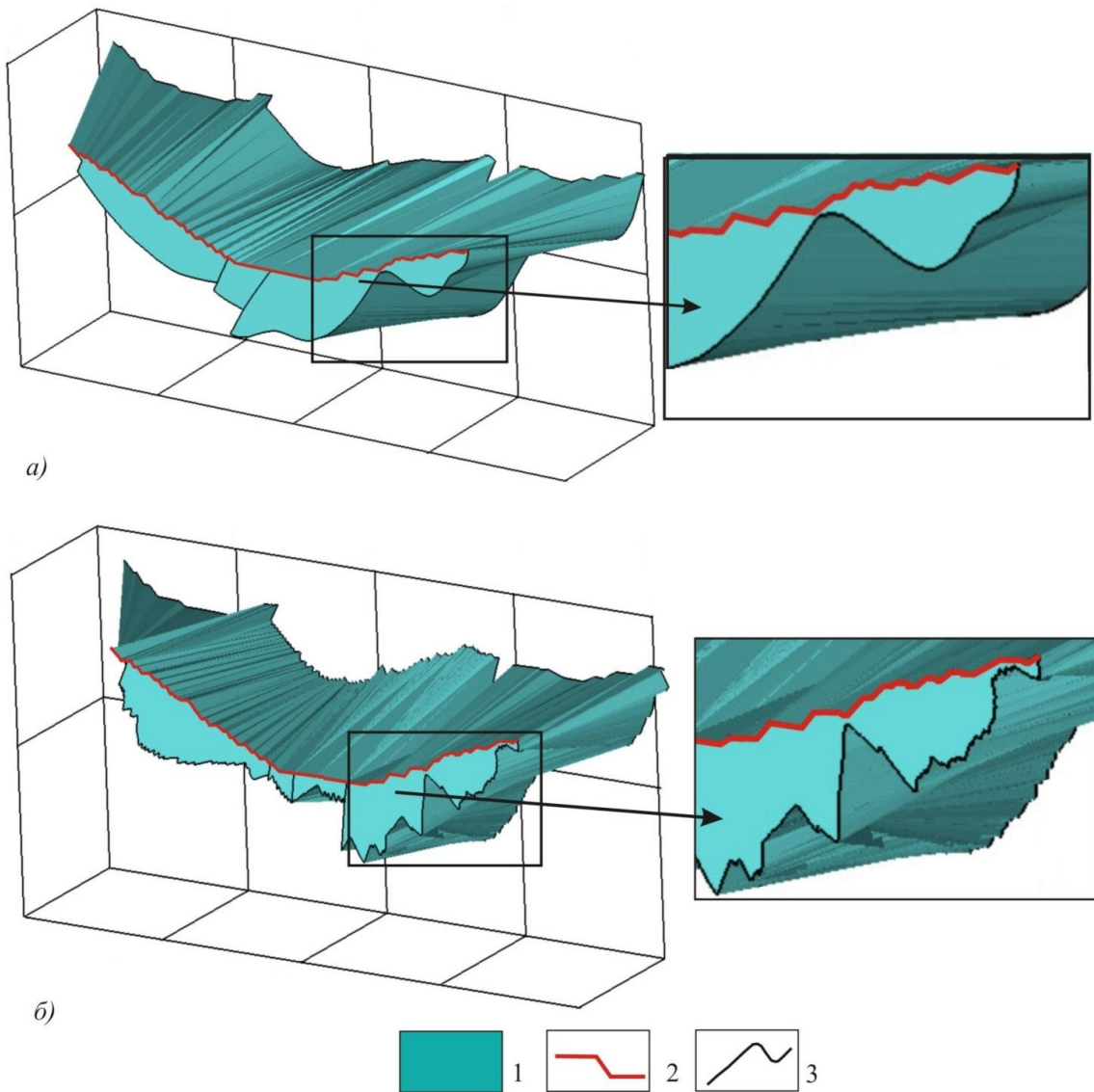


Рис. 7. Геолого-промислова модель продуктивної товщі Скелюватського родовища між профілями VIII і Хб:
 а) без даних геолого-структурного картування; б) з урахуванням даних геолого-структурного картування; 1 – продуктивна товща Скелюватського родовища (четвертий залізистий горизонт); 2 – контур діючого кар'єру ПівдГЗК; 3 – контакт четвертого залізистого горизонту і сланцевого горизонту

• Побудована ГПМ родовища, за даними геолого-структурного картування, має деталізоване відображення геології родовища, контакти мають чітку складчасту форму, уточнені елементи залягання розривних порушень, відображені складчастість третього порядку, а у деяких ділянках навіть четвертого порядку.

• Геометризація порід у ГПМ родовища за даними геолого-структурного картування дозволяє побудувати дійсну модель контакту між продуктивною та нерудною товщами.

Суттєва відмінність побудованої геолого-промислової моделі Скелюватського родовища від існуючої ГПМ говорить про ефективність геометризації продуктивної товщі Скелюватського родовища з врахуванням даних геолого-структурного картування.

Висновки

Для успішного вирішення поставлених завдань необхідно поглиблено вивчати структуру родовищ та виконувати моделювання родовища з урахуванням отриманих даних.

Геометризацію продуктивної товщі виконувати на основі даних геолого-структурного картування, з урахуванням контактів рудних тіл і порід, що їх вміщують, елементи їх залягання; розривних порушень, зони тріщинуватості; складчастих порушень, їх особливості; факторів, які визначають розташування і орієнтування зон підвищеної тріщинуватості порід.

Відсутність даних геолого-структурного картування при створенні ГПМ призводить до значної похибки у вимірах головних структурних елементах складчастих структур, а в подальшому і в точності підрахунку запасів, розташуванні проходження контакту рудної товщі.

Використання ГПМ отриманої з врахуванням даних геолого-структурного картування збільшує ефективність прогнозування геологічної обстановки і отримання інформації, необхідної для вирішення питань стійкості бортів кар'єрів у проектному контурі, раціонального розташування свердловин при розробці проектів масових вибухів під час постановки уступів кар'єру у проектне положення.

Література

1. Акименко, Н. М. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна [Текст] / Н. М. Акименко, Я. Н. Белевцев, Б. И. Горошников и др.; ред. Я. Н. Белевцев. – Москва: Госгеолтехиздат, 1957. – 280 с.
2. Бакка, М. Т. Геометризація родовищ корисних копалин / М. Т. Бакка, В. С. Редчиць, Я. В. Наральник. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 180 с.
3. Белевцев, Я. Н. Геология Криворожских железорудных месторождений / Я. Н. Белевцев, Г. В. Тохтуев, А. И. Стрыгин и др. – К. : АН УССР, 1962. – 484 с.
4. Белевцев, Я. Н. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Структуры месторождений и рудных районов / Я. Н. Белевцев, А. В. Вайло, В. В. Ветренников и др. – К. : Наук, думка, 1989. – 156 с.
5. Журкин, И. Г. Геоинформационные системы / И. Г. Журкин, С.В.Шайтура. - М : КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
6. Іщук, О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / О. О.Іщук, М. М.Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д.М. Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003.– 200 с.
7. Каляев, Г. И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции / Г. И. Каляев. – К. : Наук, думка, 1965.– 190 с.
8. Костріков, С. В., Географічні інформаційні системи / С. В Костріков, К. Ю Сегіда – Харків, 2016 – 82 с.
9. Пирогов, Б. И. Разработка методического руководства по геолого-структурному и технологическому картированию на карьерах горно-обогатительных комбинатов / Б. И. Пирогов. – Кривой Рог, 1976. – 58 с.
10. Понамарев, А. В. Разработка типовых геолого-промышленных моделей для управления качеством на примере Ирбинского и Казского железорудных месторождений : автореф. дис. на соискание наук. степени канд. . геол-мин. наук : спец. 04.00.11 "Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений; металлогения" / О. В. Понамарев. – Томск, 2000. – 16, [1] с.
11. Семененко, Н. П. Железисто-кремнистые формации Украинского щита / Т. 2. Н. П. Семененко, И. Н. Бордунов, Н. И. Половко и др. – К. : Наук, думка, 1978. – 368 с.
12. Стеценко, В. В. Дослідження особливостей складчастої структури північно-західної частини Скелюватського родовища (Криворізький залізрудний басейн) / Стеценко В.В., Завгородня В.Ю // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2017. – №2 (77). – С.89-92.
13. Стеценко, В. В. Морфологія складок центральної і північно-східної частини Скелюватського родовища (Криворізький залізрудний басейн, Україна) / В.В. Стеценко, В.Ю. Осипчук // Східно-європейський науковий журнал. – 2017. – №3 (19). – С. 25-31.
14. Щербак, Н. П. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Стратиграфия / Н. П. Щербак, Я. Н Белевцев, В. Ю. Фоменко и др. – К. : Наук, думка, 1988. – 200 с.
15. Шипулін, В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник /В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.

16. Геолого-структурное и геолого-технологическое картирование железистых кварцитов Склеватского магнетитового месторождения : отчет о НИР (заключител.) / КГРИИнститут ; рук. А. И. Каталенец. – ГР 01412043936; Инн.0823592. – Кривой Рог, 1992. – 89 с.
17. Изучение структуры рудных полей и месторождений железистых кварцитов докембрия Криворожско-Кременчугской полосы и сопоставление ее с другими районами УЩ : отчёт о НИР (заключител.) / КГРИИнститут ; рук. М. И. Черновский. – ГР 01824027642. – Кривой Рог, 1984. – 76 с.
18. Кодекс України про надра. Лісовий кодекс України. Водний кодекс України. Повітряний кодекс України : чинне законодавство зі змін. та допов. станом на 1 трав. 2005 р.: (відповідає офіц. текстові). — К. : Паливода, 2005. — 160, [1] с.
19. Петрологический и структурный анализ Склеватского магнетитового месторождения на глубину по данным детальной разведки [Текст] : отчет о НИР (промежуточ.) / КГРИИнститут ; рук. Э. В. Дмитриев. – ГР 01412036922. – Кривой Рог, 1975. – 72 с.
20. Структурно-геологическое картирование месторождения железистых роговиков ЮГОКа [Текст] : отчёт о НИР (промежуточ.) / КГРИИнститут ; рук. М. И. Черновский. – ГР 01814627669; Инн.048925. – Кривой Рог, 1969. – 61 с.

UDC 553.87:553.31 (477.63)

Vyacheslav Stetsenko,

PhD (Geology), Associate Professor,

Department of geology and applied mineralogy, Kryvyi Rih National University,

Vitaly Matusevich st., 11, Kryvyi Rih, 50027, Ukraine,

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

Viktoriya Osypchuk,

PhD student, Department of geology and applied mineralogy, Kryvyi Rih National University,

e-mail: vika.zav.2012@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9157-3506>

GEOMETRIZATION OF FERRUGINOUS QUARTZITE MASSIFS BASED ON GEOLOGICAL AND STRUCTURAL MAPPING RESULTS AND IMPROVEMENT OF DEPOSIT GIM (THE CASE OF SKELYUVATSK DEPOSIT)

The purpose of the paper is to develop generalized methods of ferruginous quartzite massifs geometrization based on the results of geological and structural mapping. The main objective is to improve the geological and industrial model (GIM) of the fields in Kryvbas region on the whole and Skelyuvatsk deposit in part.

For methodology development of ferruginous quartzite massifs geometrization GIM Skelyuvatsk deposit has been developed based on the results of geological and structural mapping and the comparative analysis of the existing GIM used at the enterprise has been carried out.

The comparative analysis has showed that GIM developed on the basis of the geological and structural mapping data is more advanced and informative. The use of geological and structural data for the development of GIM reduces the relative error in the calculation of ore reserves, increases the effectiveness of geometrization of ferruginous quartzite massifs and demonstrates geological structure of the region with the simulation of the productive layer boundaries, contacts of rocks and the internal structure of Skelyuvatsk deposit.

Scientific novelty is in the development of the new GIM of Skelyuvatsk deposit with consideration of geological and structural mapping data.

Practical relevance of the research. The use of the obtained GIM on the basis of the geological and structural mapping data increases the efficiency of geological profile forecast and the information required for finding the solution to stability of an open-pit sides within a final pit boundary and rational arrangement of drill holes in a large-scale blast plan during the development of open-pit benches in a designed position.

Keywords: Skelyuvatsk deposit, ore deposits, geological and structural mapping, geometrization of massifs, geological and industrial model, modeling, folding.

References

1. Akimenko, N. M., Belevtsev, Ya. N., Goroshnikov, B. I.; Belevtsev Ya. N. (1957). *Geological structure and iron ores of Kryvyi Rih basin*. Moscow, 280. [in Russian].
2. Bacca, N. T., Redcity, V. S., Karalnik, J. V (2002). *Geometrization of mineral deposits*. Zhytomyr, 180. [in Ukrainian].
3. Belevtsev, Ya. N., Tokhtuev, G.V., Strygin, A. I. (1962). *Geology of Kryvyi Rih Iron Ore Deposit*. Kyiv, 484. [in Russian].

4. Belevtsev, Ya. N., Vejle, A. V., Veretennikov, V. V. (1989). *Ferruginous-siliceous Precambrian formations of the European part of the USSR. The structure of deposits and ore districts*. Kyiv, 156. [in Russian].
5. Zhurkin, I. G., Shajtura, S. V. (2009). *Geographic information system*. Moscow, 272. [in Russian].
6. Ischuk, A. A., Korzhnev, N. M., Koshliakov, A. E. (2003). *Spatial analysis and modeling in GIS*. Kyiv, 200. [in Ukrainian].
7. Kalyaev, G. I. (1965). *Tectonics of the Precambrian Ukrainian iron ore province*. Kyiv, Naukova Dumka, 190. [in Ukrainian].
8. Kostrikov S. V., Segida K. Yu. (2016). *Geographic information system*. Kharkov, 82. [in Russian].
9. Pirogov, B. I. (1976). *Development of a methodological guidance for geological, structural and technological mapping in the quarries of mining and processing plants*. Krivoy Rog, 58 [in Russian].
10. Ponomarev, A. V. (2000) *Development of standard geological and industrial models for quality management on the example of Urbinskogo and cassago iron ore deposits. Extended abstract of Ph. D. thesis (Geology) Tomsk*. [in Russian].
11. Semenenko, N. P., Bogdanov, I. N., Polovko, N.I. (1978). *Ferruginous-siliceous formations of the Ukrainian shield*. Kyiv, 368. [in Russian].
12. Stetsenko, V. V., Zavgorodnyaya V. Yu. (2017). *Research of the aspects of folded structures of the north-western part at Skelyuvatske deposit (Kryvyi Rih basin)*. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 2, 89-92. [in Ukrainian].
13. Stetsenko, V. V., Osypchuk V. Yu. (2017). *The folds morphology of the central and north-eastern part at Skelyuvatske deposit (Kryvyi Rih basin, Ukraine)*. *East European Science Journal*, 3, 25-31. [in Ukrainian].
14. Shcherbak, N. P., Belevtsev Ya. N., Fomenko V. Ya. (1988). *Ferruginous-siliceous Precambrian formations of the European part of the USSR*. Kyiv, 200. [in Russian].
15. Shipulin, V. D. (2010). *Basic principles of geographic information systems*. Kharkiv, 313. [in Ukrainian].
16. *Structural geological and geological-technological mapping of ferruginous quartzite at Skelyuvatsk deposits (1969)*. Krivoy Rog, 61. [in Russian].
17. *The study of the structure of ore fields and deposits of ferruginous quartzites of pre-Cambrian rocks of the Krivoy Rog-Kremenchug syncline zone and comparing it with other areas of the store. (1984)*. Krivoy Rog mining Institute. Krivoy Rog, 76. [in Russian].
18. *The code of Ukraine on mineral resources. The forest code of Ukraine. Water code of Ukraine. The air code of Ukraine: current legislation with the changes. and dopol. as of 1 herbs. 2005: (corresponds to the official. text)*. K. Palyyoda, 2005, 160, [1]. [in Ukrainian].
19. *Structural geological and geological-technological mapping of ferruginous quartzite Skeluvatske magnetite deposit (1992)*. Krivoy Rog, 89. [in Russian].
20. *Petrological and structural analysis Skeluvatske magnetite deposit at a depth according to detailed exploration (1975)*. Krivoy Rog, 72. [in Russian].

Vasyl Grygorovych Suyarko,
Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,
Chair of Mineralogy, Petrography and Minerals, V. N. Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: vg suyarko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

Liliya Volodymyrivna Ishchenko,
PhD student, Lecturer,
Chair of Mineralogy, Petrography and Minerals, V. N. Karazin Kharkiv National University,
lvishchenko23@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0848-368X>;

Olga Volodymyrivna Gavrilyuk,
PhD student, Lecturer,
Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology,
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
e-mail: gavrilyuk.o.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7057-2499>

FLUID REGIME AND ORE WATER OF BITUMO-HYDROTHERMAL MINERAL ASSOCIATIONS IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONETSK GRABEN

В.Г. Суярко, Л.В. Іщенко, О.В. Гаврилук. ФЛЮІДНИЙ РЕЖИМ ТА ОРЕОЛЬНІ ВОДИ БІТУМО-ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ МІНЕРАЛЬНИХ АСОЦІАЦІЙ В УМОВАХ ЗАХІДНО-ДОНЕЦЬКОГО ГРАБЕНУ. Формування бітумо-гідротермальних мінеральних асоціацій, під якими автори розуміють просторово і генетично обумовлене спільне знаходження у гірських породах гідротермальних мінералів та природних бітумів, характеризуються специфічним флюїдним режимом. У породах Західно-Донецького грабену гідротермаліти, що представлені рудними та нерудними мінералами, асоціюють з твердими бітумами – природними сполуками, що складаються з високомолекулярних вуглеводнів та гетероатомних молекул різного виду і походження. Це явище спостерігається у породах антиклинальних структур з якими пов'язані відомі рудні поля ртутної та поліметалічної спеціалізації – Микитівське, Дружківсько-Костянтинівське та Слов'янське.

Для цих поліхронних гідротермальних систем вирішальне значення у виникненні бітумо-гідротермальних асоціацій мала ларамійська фаза альпійського тектогенезу.

Структурно ці системи приурочені до тектоногенних зон розуцілення у склепінних частинах антиклиналей. Ореольні води, що тут формуються, уміщують як хімічні елементи та сполуки, запозичені з порід, мінералів та бітумів, так і ті, що надходять з підкорових глибин у флюїдних потоках.

Геохімічні аномалії (літо-, гідро- та газо-) супроводжуються геотермічними і утворюються на ділянках сучасної тектонічної активізації антиклинальних структур, що свідчить про сучасний (постгідротермальний) етап розвитку гідротермальних систем у регіоні.

Ключові слова: флюїдний режим, бітумо-гідротермальна асоціація, Західно-Донецький грабен, тектонічний розлом, тепломасоперенесення, ореольні води, газу, тектонічна фаза.

В.Г. Суярко, Л.В. Іщенко, О.В. Гаврилук. ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ И ОРЕОЛЬНЫЕ ВОДЫ БИТУМО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АСОЦИАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНО-ДОНЕЦКОГО ГРАБЕНА. Формирование битумо-гидротермальных минеральных ассоциаций под которыми авторы понимают пространственно и генетически обусловленное совместное нахождение в горных породах гидротермальных минералов и природных битумов, характеризуются специфическим флюидным режимом. В породах Западно-Донецкого грабена гидротермалиты, которые представлены рудными и нерудными минералами, ассоциируют с твердыми битумами – природными соединениями, что состоят из высокомолекулярных углеводородов и гетероатомных молекул разного вида и происхождения. Это явление наблюдается в породах антиклинальных структур с которыми связаны известные рудные поля ртутной и полиметаллической специализации – Никитовское, Дружковско-Константиновское и Славянское.

Для этих полихронных гидротермальных систем решающее значение в возникновении битумо-гидротермальных ассоциаций имела ларамийская фаза альпийского тектогенеза.

Структурно эти системы приурочены к тектоническим зонам разуплотнения пород в сводовых частях антиклиналей. Ореольные воды здесь формируются как за счет химических элементов и соединений, которые заимствованные из пород, минералов и битумов, так и за счет, флюидных потоков, которые поступают из подкоровых глубин. Геохимические аномалии (литологические, гидро- и газо-) сопровождаются геотермическими и образуются на участках современной тектонической активности антиклинальных структур, что свидетельствует о современном (постгидротермальном) этапе развития гидротермальных систем в регионе.

Ключевые слова: флюидный режим, битумо-гидротермальная ассоциация, Западно-Донецкий грабен, тектонический разлом, тепломасоперенос, ореольные воды, газы, тектоническая фаза.

Problem formulation. By the term "bitumen-hydrothermal mineral association," the authors understand the spatially and genetically determined joint location of hydrothermal minerals and natural bitumen in rocks. In this case, "natural bitumen" is a natural hydrocarbon compound of a solid, viscous and viscous-liquid consistency consisting of high

molecular hydrocarbons and heteroatomic (oxygen, sulfur, nitrogen and metal-containing) compounds having structural viscosity and non-Newtonian fluids [25]. Ore water of such associations is characterized by certain geochemical specifics.

Hydrothermal mineralization in the rocks of the Western Donetsk graben, which is the eastern part of

the Dnieper-Donetsk paleorift, is often found together with solid bitumen. This phenomenon is established in various ore fields of the region. Among them are Nikitovskoe, Druzhkivsko-Konstantinovskiy, Slovyanskoye ore fields and numerous orodimensions of hydrothermal mineralization in rocks. All of them are confined to different types of anticlinal structures.

On the other hand, in the rocks of most of the oil-and-gas bearing structures known in the Western Donetsk graben (and not only here), there is both ore hydrothermal mineralization and non-ore. Such a pattern, in our opinion, is not only due to the joint ways of migration, but also, possibly, to the joint sources of generation of hydrothermal minerals and hydrocarbons. Considering this issue, one should proceed from the fact that the energy basis for the formation of hydrothermal mineralization, as well as the accumulation of hydrocarbons in the earth's crust is the fluid heat-and-mass transfer. Heat flows formed in the mantle, carry out ascending unloading in the zones of deep faults and, saturating with mineral matter, carry huge masses of geological matter - from hydrothermal mineral-forming solutions to gas-liquid fluids, an essential component of which are hydrocarbons. In addition, by capturing the substance of rocks in the course of its movement, these endogenous streams are unloaded in areas of the removal of geostatic pressure within the limits of anticlinal folds that are increasing in the present time [2,5,20,33,37].

The indicated processes are caused mainly by three factors: features of geological development of the region; its structural structure and the modern level of tectonic activity of the region. All other factors (geophysical, hydrogeological, lithological, geochemical, etc.) are of secondary importance.

Analysis of the latest research and publications. The problem of the fluid regime of hydrothermal processes involving hydrocarbon compounds has long been the subject of discussion in scientific geological circles around the world.

In the early stages, as well as now, it is often considered in the context of two opposing paradigms - the organic and inorganic origin of hydrocarbons. This, on the one hand, makes it rather interesting and ambiguous, and on the other - requires specific scientific facts and research results.

In frequent cases, there is a joint finding of solid bitumen, naphthides, petroleum, methane and its homologues within hydrothermal ore fields. This phenomenon is observed on different continents, mainly in areas with a young Meso-Cenozoic tectonic activity, which is the result of modern heat-and-mass transfer in the earth's crust, the most intense foci of which are concentrated on the fluid-dynamic open areas of zones of deep faults [6,19,25,32].

Among the researchers who studied this problem somehow or another, there are the well-known Ukrainian (G. Dolenko, V. Porfiriev, I. Chebanenko, M. Pavlyuk, O. Lukin, E. Chekalyuk, V. Gavrish, L. Dobryansky), Russian (P. Kropotkin, M. Kudryavtsev, N. Ozerova, N. Beskrovny, J. Pikovsky), american (D. White, A. James, M. Cox, E. Bailey, R. Carson) and many other scientists from different countries of the world.

Often low- and medium-temperature mercury mineralization is associated with bitumen, petroleum and hydrocarbon gases. Hydrothermal mineralization and bituminous materials are widely represented in Meso-Cenozoic folded and volcanic structures of the Pacific rim [21]. Spatial connections of hydrothermal mineralization and hydrocarbon compounds are found in the Ukrainian Carpathians and the Crimea, the Czech Sudeten and the Spanish Pyrenees, the Central Asian structures of Tien Shan and Pamir, in North America and Africa, in Siberia and New Zealand. This phenomenon is observed on different continents, which makes it, in fact, general-planetary [3,5,6,10,12,19,32,38].

Regional studies have established bitumen-hydrothermal mineral associations in the region. In addition to the Nikitovskiy, Druzhkivskiy-Konstantinovskiy and Slavic ore fields, they were found on Bilyaivskiy, Spivakivskiy, Petrovskiy, Izyumskiy and other anticlinal structures [10,12].

The development and improvement of the laboratory and experimental base of geological science with the involvement of such modern research methods as isotopic and mass spectrometric analyzes reproduces the basic parameters of the fluid regime, in which hydrocarbons participate in hydrothermal mineral formation [2,5,8,33,34]. This, in turn, makes it possible to quite realistically define the formation of bitumen-hydrothermal mineral associations in rocks and the formation of halo waters around them [13,25,27,38].

To date, considerable volumes of field and experimental information have been accumulated on the modeling of hydrothermal processes of mineral formation and oil and gas accumulation in the upper part of the earth's crust due to mantle exhalations [2,17,18,20].

A few studies are devoted to bitumen hydrothermal mineral associations in the rocks of the Western Donetsk graben associated with the works of V. Shumlyanskii, A. Gorovy, V. Skarzhinsky, V. Suyarko, K. Bezruk, L. Ishchenko [3,14,25,34].

Particular attention should be paid to the works that determine the thermodynamics of the deep processes of heat-and-mass transfer both in hydrothermal ore fields [27,37] and in zones of deep oil and gas accumulation [2,20, 30]. Particular attention should be paid to the development of models of formation of halo waters in the hydrothermal ore fields

of the region at the expense of the endogenous and exogenous fluid-dynamical factors and processes [13,14,25,27,30].

Selection of previously unsolved parts of the general problem. Resolving the problem of hydrocarbon participation in the hydrothermal process is of a general nature and needs to be clarified and detailed for different geological regions. This, above all, is determined by the conditions that determine the formation of bitumen-hydrothermal mineral associations in erupted rocks. Among the unresolved separate problems of this problem is the formation of a fluid regime of hydrothermal process with the participation of hydrocarbons in the conditions of the Dnieper-Donetsk paleorift, and in particular, Western Donetsk graben.

Formulating the purpose of the article. Investigation of the features of the fluid regime and the participation of hydrocarbons in a hydrothermal process in the conditions of the Western Donetsk graben (Dniprovsk-Donetsk paleorift).

Presenting main material. Formation and further geological development of the Dnieper-Donetsk paleorift (including the territory of research) are associated with the periods of tectonic activation, accompanied by the formation of new and rebuilding existing folded and burst structures, in sedimentary rocks of which hydrothermal minerals deposited, that are spatially-genetically connected with bitumen.

Tectonic disturbances, different in order, direction and amplitudes, several of which reach the mantle, were and are now the main channels of heat-and-mass transfer. It is with them that the upstream flows of thermal crust-mantle fluids, deep water and hydrocarbon migration are connected [16,18,37]. For the last tectonic channels, in spite of the traditional ideas, are, in our opinion, not only the underlying but also the distributive ones. At the same time, under favorable structural-tectonic and lithologically-facies conditions, discontinuous tectonic disturbances with signs of hydrothermal activity can be the main factor in the formation of hydrocarbon traps in deep (more than 4-6 km) Paleozoic horizons, as well as in the upper part of the geological section [28]. This, in our opinion, is due to the development of powerful dissolution zones around them.

Within the active sections of faults in various geological epochs of the region, there were tectonic movements, the result of which were magmatism, hydrothermal activity and conglomeration of hydrocarbon accumulations. The authors associate the activation of fracturing structures and the intensification of heat-and-mass transfer processes with the Alpine tectogenesis, the result of which were neotectonic geodynamic stresses, manifestation of which is the geothermal field intensity, fluid mass transfer and anomalies of high reservoir pressure in the rocks, as

well as gas and hydrogeochemical anomalies of methane and its homologues, which are direct indicators of oil and gas presence [28].

Modern heat-and-mass transfers on the territory of research are established within the limits of ancient polychronic hydrothermal systems, the most active resumption of which occurred in the Laramie phase of alpine tectogenesis. Here there is an ascending unloading of alkaline (pH 7,8-9,2), chloride-sodium and chloride-hydrocarbonate-sodium waters with high (sometimes with very low) mineralization and abnormally high concentrations of endogenous chemical elements (Hg, B, Li, Rb, Cs, I, F, Br As etc.). In the dissolved or free state, the gases - CO₂, CH₄, N₂, etc., are fixed here, among which the metamorphogenic mantle occupy a prominent place - H₂, Ag, Ne, steam Hg. For the most part, such cells spatially coincide with the sections of both modern tectonic activity and high intensity thermal field. Sometimes they are accompanied by geophysical anomalies of different nature. Such centers of unloading of endogenous fluids that are abnormal in chemical composition, heat flow, groundwater and deep-formed gases are detected in the zones of the Central Donetsk, Korul'sko-Dronovsky, Mushketovskiy-Persianovsky, Krasnoritsky, Maryovskogo and many other faults, the existence of which is associated with processes that occur under the earth's crust [8,18,27].

At a depth of up to 1000 m, gases are dominated by carbon dioxide, the concentration of which is 2 times higher than the background, and methane spontaneously released during well drilling within the limits of ancient hydrothermal systems controlled by regional faults [15,16]. Sometimes, the temperature of the waters of the Paleozoic and Mesozoic deposits even at depths up to 0-300 m reaches 23°-27° C [25,28] at the background values of 10°-12°C. Such hydrogeothermic anomalies are found within the limits of anticlinal structures with hydrothermal mineralization and manifestations of oil and gas, controlled by deep faults: on Main (Horlivska) (up to 18°C), Druzhkivsky-Konstantinovsky (up to 19°C), Slavyansk (up to 20°C). Svyatohirskaya (up to 27°C), Korul (up to 22°C) anticlines and some other structures of the region. The excess by the average abnormal temperatures of groundwater of similar proportions in the rocks confirms the version that the deep waters of faulty structures are the main factor of heat-and-mass transfer in the upper zones of the earth's crust [4].

Experimental studies have established that heat-and-mass transfer in the deep areas of the earth's crust occurs at the expense of gaseous fluids, and in the upper part of it, it is controlled by the circulation of sodium chloride waters and brines containing components of high molecular weight hydrocarbon compounds. The composition of these compounds

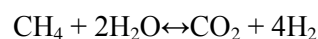
(molecules) may include nitrogen, sulfur, oxygen, halogens (fluorine, iodine, bromine), as well as metals in the complex forming so-called asphalt-smearing substances. Generally, more than 900 hydrocarbon compounds of paraffin, naphthenic and aromatic series contain all of these microcomponents [24]. Among them, of particular interest from the genetic point of view, are heavy metals (Ni, Cr, V, W, Fe, Hg, etc.), which are almost always present not only in oil, but also in hydrocarbon gases [5,16,24]. They are the specific genetic markers of hydrocarbons. Taking into account the natural thermodynamic conditions, extracting heavy metals from crystalline rocks is possible only at such temperatures and pressures, when the oil in its usual form, cannot exist as a crystalline mineral [31,33,34,37].

In the study of hydrogeochemical and gasgeochemical anomalies, one of the most important issues is the genesis of their components. The answer to it can be considered in two aspects: 1) the origin of the main components of groundwater and gases; 2) genesis of microelements of water and dissolved and free gases [28].

The analysis of the isotopic composition of hydrogen and oxygen of groundwater in the zones of deep faults in the region has confirmed that they are mainly (95-97%) are hidden seawater diluted in the sedimentation pool by infiltration water [7]. This suggests that only 5-7% of groundwater of fault zones can be "juvenile waters", which are highly diluted with vadose waters, but are actively involved in the formation of hydrothermal and hydrocarbon deposits and their ore water. However, in the process of considering the origin of water, it is necessary to take into account the isotopic ratio of O₂, H₂, and to study the isotopes of dissolved chemical elements in

them. The content of the latter in fault zone waters depends on the temperature, chemical composition and velocity of the fluids - factors that determine the solubility of the isotopes, the duration of contact with the rocks and the vadose waters. Among the chemical elements, the isotopes of carbon, uranium, radium, radon, argon, helium are of fundamental importance for genetic diagnostics of fluid and solid forms of geological matter.

The most actively entering the water of the deep faults of the Dnieper-Donetsk aulacogene are carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). The latter is likely to be a product of degassing the mantle, as well as metamorphism of sedimentary rocks. In mantle carbon dioxide, the content of heavy nuclide δ¹³C is in the range of 6-13 ‰ for an average value of 7 ‰. This isotopic composition also has methane, which can be formed in the mantle together with CO₂ during the interaction of carbon with water [2,7,23,34]. In the upper layers of the earth's crust deep methane can be oxidized by reaction:



In the future, as a result of the dissolution of carbon dioxide in water, sometimes deep hydro carbonate sodium water may be formed.

Carbon dioxide from deep horizons of the earth's crust comes in fault zones that control both hydrothermal fields and hydrocarbon generation zones. Here, on the sites of discharge of fluid streams, there is a selection of CO₂ and CH₄ (both in free and soluble forms) with a relatively high content of heavy nuclide δ¹³C [20,25]. As an example, Druzhkivsky-Konstantinovsky ore field, which is confined to the eponymous anticlinal folds (Table 1).

Table 1

Isotope composition of carbon in waters and gas streams of Druzhkivsky-Konstantinovsky anticline (according to O. Friedman, 1971)

Selection point sample (well)	Phase state	Volume share, %		δ ¹³ C, ‰	
		CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
№ 6-Д	Gas dissolved in water	18,78	9,9	-20,1	-5,0
		77,1	0,5	—	-8,1
№ 7-Д	Free gas	44,8	15,3		-15,1
№ 9-Д	Gas dissolved in water	38,0	11,1	-30,8	-8,4

As can be seen from Table 1, heavy isotope of carbon content (δ¹³C) is greater in carbon dioxide than in methane, which is determined by the thermodynamic properties of carbon in these compounds [28]. The values of δ¹³C for methane vary from -20,1

to -30,8 ‰, indicating its predominantly crust (metamorphogenic-catagenetic) origin [1]. In carbon dioxide, dissolved in pressure sodium chloride and hydro carbonate (chloride) sodium waters and brines, as well as in free CH₄ from gas jets, this val-

ue ranges from 5 to 15,1%, which is more characteristic of its endogenous variety [15,16,40]. In our opinion, this is evidenced by the fact that, within hydrothermal hydrocarbon systems, two the most important components - methane and carbon dioxide - can accumulate as a result of endogenous degassing of the Earth [20,23].

Degasification of the mantle in the Dnieper-Donetsk paleorift is accompanied by the constant emission of fluids, which migrate in sedimentary rocks, "steaming" and saturating them with endogenous components. By deep water moving the processes of catagenetic transformations in the earth's crust can be explained. Deep water absorbs endogenous heat flow and is constantly heated, and while moving to the surface, on the contrary, they give their thermal energy to colder sediment and infiltration water. Thus, it turns out that the spatial coincidence in the region of areas of increased tension of geothermal field with sections of hydrogeothermal mineralization and hydrocarbon accumulations and their ore water can be justified by genetic factors [2,4,20].

Vertical crust-mantle convection, which increases at the moments of folding phases and fades in the periods of relative tectonic stabilization, still continues in the region in accordance with the "post-hydrothermal stage" of its geological development [10]. Therefore, within the stable hydrothermal systems limits on the sites of fracture structures with the greatest fluid permeability the long-lived centers of heat transfer have formed. During the long history of geological development of the region there was a

periodic discharge of the heat flow in them, hydrothermal solutions and hydrocarbon fluids, which moved to the upper horizons of the earth's crust with the participation of deep formation water, forming bitumen-hydrothermal mineral associations, as well as affecting the formation of ore water [16].

Ancient fluids from which minerals are formed, as well as modern water-gas mixtures discharged into neotectonically activated faults, are part of the halo waters and have sodium chloride or chloride-sulfate sodium composition. Sometimes (Slavic brachianthicline) in the liquid phase of hydrothermal inclusions, there are hypogene microelements (lithium, cesium, rubidium, mercury, etc.) that are contained in the fluids, unloaded in faults in modern times. The composition of their gas phase (which is dominated by CH₄, CO₂ in the presence of N₂, H₂S, He, H₂, Ar and others, in general corresponds to the composition of gas jets emitted from the fountain wells that revealed the hydrothermal systems of the Bakhmut and Kalmius-Toreka basins (Table 2) [8,16,25,27].

More specific information on the genesis of groundwater of fault structures give, in our opinion, the ratio of concentrations of rare alkalis - lithium, rubidium, and cesium in them. The content of these chemical elements is not controlled by the physical and chemical equilibrium between water and minerals, which confirms them entering the groundwater from the cells of deep generation, therefore, ore and deep waters containing rare alkenes, receive an endogenous component [1,38].

Table 2

Chemical composition of gas-liquid inclusions in hydrothermal minerals from the Slavic brachianthicline

Type of mineralization	Chemical composition		Literary source
	of gas phase, %	of liquid phase (water type, pH, mineralization, microelements)	
Mercury polymetallic	CO ₂ –44–57 CH ₄ –10–55 N ₂ –8–10, H ₂ , H ₂ S, C ₂ H ₆ , C ₃ H	Chloride-sodium (calcic) pH – 6,5–8,5 mineralization – 176 g/dm ³	[11]

Two of the simplest and at the same time informative methods for determining the genesis of solutions are methods based on the ratios of concentrations of lithium, rubidium and cesium, used by different researchers [1,25,40].

On the basis of research results of the content of rare alkalis in the thermal waters of young volcanic areas and fault zones, it was found that lithium, rubidium, cesium, and chlorine could not accumulate in the groundwater due to erosion from rocks, but came from endogenous, possibly mantle cells of generation. To determine the genesis of solutions, it was proposed to use the ratio of the concentrations of rare alkalis:

a) for sea water – the content Li:Rb:Cs = 100:78:0,22;

б) for deep (volcanogenic) water the content Li:Rb:Cs = 100:13:14 (100:9:6) [1].

Concentrations of rare alkalis in the water of deep faults, which are discharged within certain hydrothermal-gas structures of the Western-Donetsk graben, indicate that the ore waters of the ore fields is close by composition to modern volcanic waters, and therefore have an endogenous component [14,22,25,29,30].

An important diagnostic feature of determining the genesis of water is also the content of helium, in the composition of deep fluids, unloaded in many

The ratio of concentrations of lithium, rubidium and cesium in ore waters of fault zones in some hydrothermal-gas-bearing structures of the region (by V. Suyarko, 2006)

Location and depth of sampling, aquifer (complex)	concentration in water, mg / dm ³	Concentration ratio Li:Rb:Cs	Genetic type of groundwater
Druzhkivsko-Kostyatinovsky anticline, well 7 (C ₂ ³)	Li – 0,06 Rb – 0,007 Cs – 0,016	100:11:26	depth water
Slavic dome (Adamivskiy steak), well with arbitrary outflow	Li – 0,078 Rb – 0,012 Cs – 0,016	100:15:20	depth water

deep faults in the region. Its abnormal concentrations (up to 0,067%) were detected in gas jets, spontaneously released along with the deep waters in faults, which erode Druzhkivsko-Kostyatinovsky anticline [16]. Helium also occurs on other dome structures of the region with similar geochemical specialization (Krasnopopovskaya, Slavyanskaya, Chervonokiskaya, etc.). In almost all cases, the ratio of nuclides ³He/⁴He fluctuates within the limits of $n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-5}$, which definitely indicates the mantle origin of the element [25,40].

Thus, on the basis of the above signs it can be concluded that the bitumen-hydrothermal mineral associations and the ore waters of the ore fields of the region are formed with the participation of mantle and metamorphogenic fluids, in which some of the main components are carbon and hydrogen.

Conclusions. The results of the study, based on the actual material of field and laboratory works, let us make important conclusions.

1. In Western Donetsk graben, which is an integral part of the Dnieper-Donetsk paleorift, the natural affinity of natural, mostly solid, bitumen to the sections of hydrothermal mineralization in rocks is established. These areas are found in the rocks of the anticlinal structures controlled by the zones of deep faults and their apophyses.

2. The energy sources of the formation of hydrothermal mineralization and natural bitumen are the processes of heat-and-mass transfer, occurring in zones of fluid-dynamically open faults. The upcoming discharge of fluid flows is determined by three most important factors:

- features of the geological development of the region;
- its structure;
- modern level of its tectonic activity.

3. The isotopic composition of the carbon of bitumen indicates that they are, in part, of inorganic origin and were formed as a result of synthesis reactions in thermodynamic conditions of great depths.

This, in turn, does not exclude their income from common with hydrothermal ore-forming fluids generation sources.

4. In the halo waters of the bitumen-hydrothermal mineral associations of the region, there are chemical elements and gases that have a deep (mantle) origin. This, as well as the nature of the quantitative ratios of rare alkalis in them, indicates that hydrothermal systems of the ore fields of the Western Donetsk graben are active and are at the modern post-hydrothermal stage of their development.

Література

- Арсанова, Г. И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей / Г. И. Арсанова. – Новосибирск : Наука, 1974. – 111 с.
- Багрий, И. Д. Гидро- геосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза образования углеводородов и её роль при обосновании прямопоисковой технологии / И. Д. Багрий // Геологический журнал. – 2016. – №2. – С. 107–132.
- Безрук, К. О. Геохімія ртуті у підземних водах геологічних структур Донецької складчастої структури / К. О. Безрук, Г. В. Лисиченко, В. Г. Суярко. – Київ : ІГНС НАНА України та ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013. – 132 с.
- Белоконь, В. Г. Бассейн р. Сев. Донец как геодинамическая система, отражающая процессы больших глубин / В. Г. Белоконь. // Геологический журнал. – 1984. – №1. – С. 1–13.
- Бескровный, Н. С. Нефтеметаллогения: единство нефти и рудообразования / Н. С. Бескровный // Журнал Всесоюзного химического общества имени Д. И. Менделеева. – 1986. – №5. – С. 569–574.
- Бескровный, Н. С. Нефтяные битумы как спутники гидротермальной деятельности / Н. С. Бескровный. – Ленинград : Недра, 1967. – 209 с.
- Ветштейн, В. Е. Изотопный состав водорода и кислорода вод в зонах глубинных разломов / В. Е. Ветштейн, В. К. Гавриш, Л. К. Гуцало // Сов. Геология. – 1979. – №7. – С. 96–103.

8. Возняк, Д. К. Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення / Д.К. Возняк. – К. : Наукова думка, 2007. – 279 с.
9. Гаврилюк, О. В. Палеогидрогеохимические особенности накопления брома в юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины / О. В. Гаврилюк // Вісника Одеського національного університету. Серія: «Географічні та геологічні науки». – 2015. – Т. 20, вип. 3. – С. 145-153.
10. Гавриш, В. К. Ртутно-вуглеводнева зональність Доно-Дніпровського прогину / В. К. Гавриш, Л. А. Добрянський, М. В. Курило. // ДАН УССР. – 1984. – №7. – С. 18–21.
11. Генетические особенности минералообразования Славянского ртутного месторождения / Б. В. Зациха, О. И. Петриченко, Б. В. Долишний, В. А. Ласьков // Минералогический сборник Львовского университета. – 1973. – №27. – С. 326–332.
12. Добрянский, Л. А. Парагенезис ртути и углеводородов - важное направление геологических исследований / Л. А. Добрянский, В. К. Гавриш. // Геологический журнал. – 1988. – №48. – С. 3–11.
13. Іщенко, Л. В. Геохімічні критерії пошуків вуглеводнів на сході Дніпровсько-Донецької западини / Л. В. Іщенко. // Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна. – 2015. – №48. – С. 88–93.
14. Іщенко, Л. В. Закономірності розміщення покладів вуглеводнів та зон гідротермальної мінералізації на території східної частини Донецької складчастої споруди / Л. В. Іщенко // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. – 2016. – №45. – С. 38–42.
15. Іщенко, Л. В. Умови формування бітумо-гідротермальних асоціацій в антиклінальних структурах Західно-Донецького грабену / Л. В. Іщенко // Міжнародна наукова конференція «Геологія і геохімія горючих копалин», присвяченої 100-річчю від дня народження академіка Г. Н. Доленка. – 2017. – С. 69–71.
16. Кирикилиця, С. И. О составе и природе свободных газовыделений (газовых струй) ртутных рудопроявлений Дружковско-Костантиновской антиклинали / С. И. Кирикилиця, М. Л. Левенштейн, А. И. Фридман // Геологический журнал. – 1972. – №2. – С. 92–97.
17. Кононов, В. И. Геохимия термальных вод современного вулканизма (рифтовых зон и островных дуг) / В. И. Кононов. – Москва : Наука, 1983. – 216 с.
18. Лялько, В. И. Теплоперенос в литосфере / В. И. Лялько. – Киев, : Наукова думка, 1985. – 259 с.
19. Лукин, А. Е. О роли глубинных и сверхглубинных флюидов в процессах нефтегазообразования / А. Е. Лукин, Ю. И. Пиковский // Геологічний журнал. – 2004. – №2. – С. 21–33.
20. Лукин, А. Е. О сквозьформационных флюидопроводящих системах в нефтегазоносных бассейнах / А. Е. Лукин // Геологический журнал. – 2004. – №3. – С. 34–45.
21. Масленников, В. В. Сходство условий формирования нефтяных газовых и ртутных месторождений / В. В. Масленников. – 1987. – №10. – С. 108–114.
22. Нант, Д. Е. О вероятном рудообразующем магматическом растворе и метаморфизирующихся породах, вскрытых глубокой скважиной в Южной Калифорнии / Д. Е. Нант, Е. Т. Андерсон, Д. Е. Груббс // Геохимия современных поствулканических процессов. – М. : Мир, 1965. – С. 167-171.
23. Панов, Б. С. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов Донбасса / Б. С. Панов, В. А. Корчемагин, И. К. Пилот // ДАН УССР. – 1974. – №3. – С. 226–234.
24. Стебельська, Г. Я. Новий погляд на проблему класифікації нафт / Г. Я. Стебельська // Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна. – 2017. – №46. – С. 50–56.
25. Стебельська, Г. Я. Закономірності розміщення покладів природних бітумів / Г. Я. Стебельська. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2017. – №1. – С. 168–169.
26. Суярко, В. Г. Геохимия подземных вод / В. Г. Суярко. – Харьков, 2006. – 296 с.
27. Суярко, В. Г. Гидрогеохимические особенности и поисковые критерии ртутных месторождений Донбасса / В. Г. Суярко // Геол. журнал. – 1981. – №2. – С. 147-149.
28. Суярко, В. Г. Структурно-геохімічні критерії прогнозування скупчень вуглеводнів (на прикладі Західно-Донецького грабену) / В. М. Загнітко, Г. В. Лисиченко // Київ : Салютіс, 2010. – С. 83.
29. Суярко, В. Г. Про джерела надходження та міграцію бромів в підземних водах (на прикладі Дніпровсько-Донецького авлакогену) / В. Г. Суярко, О.В. Гаврилюк // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: «Геологія. Географія. Екологія». – 2014. – №41 (1128). – С. 70-75.
30. Суярко, В. Г. Геохімічні особливості ореольних вод основних типів гідротермального зруденіння Донецької складчастої споруди / В. Г. Суярко, Л. В. Іщенко, О. О. Сердюкова // Пошукова та екологічна геохімія. – 2017. – №1. – С. 44–51.
31. Термодинамическая модель системы С-Н в условиях высоких температур и давлений / В. С. Зубков, А. Н. Степанов, И. К. Карпов, В. А. Бычинский // Геохимия. – 1998. – №1. – С. 95–101
32. Уайт, Э. Д. Месторождения ртути и цветных металлов, связанные с термальными минеральными источниками / Э. Д. Уайт // Геохимия рудных месторождений. – Москва : Мир, 1970. – С. 479–524.
33. Чекалюк, Э. Б. Термодинамические основы минерального происхождения нефти / Э. Б. Чекалюк. – Киев : Наукова думка, 1971. – 265 с.
34. Хоха, Ю. В. Термодинаміка глибинних вуглеводнів у прогнозуванні регіональної газоносності / Ю. В. Хоха. – Київ : Наукова думка, 2014. – 56 с.
35. Шумлянський, В. А. Киммерійська металлогенічна епоха на території України / В.А. Шумлянський. – Киев, 1983.
36. James, A. N. Tow metallogenic maps for North America / Noble James. // Geol. Rundshall. – 1980. – №69. – С. 594–608.

37. Giardini, A. A. Evidence that stable carbon isotopes are not a reliable criterion for distinguishing biogenic from non-biogenic petroleum / A. A. Giardini, C. E. Melton. // *L. Petrol. Geol.* – 1982. – №4. – С. 437–439.
38. Ellis, A. I. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/ rock interaction / A. I. Ellis, W. A. Mahon // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1964. – №28. – P. 1323-1357.
39. Tracing helium isotope compositions from mantle source to fumaroles at Oldoinyo Lengai volcano, Tanzania / [G. Mollex, E. Furi, P. Burnard et al.]. // *Chemical Geology.* – 2018. – №480. – P. 66–74.
40. White, D. E. Magmatic, connate and metamorphic water // *Bull. Geol.Soc.Amer.* – 1957. – №12. – P. 1659-1682.

UDC 556.314:550.4

Vasyl Suyarko,

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

Liliya Ishchenko,

PhD student, Lecturer,
Chair of Mineralogy, Petrography and Minerals, V.N.Karazin Kharkiv National University,
lvishchenko23@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0848-368X>;

Olga Gavrilyuk,

PhD student, Lecturer,
Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology,
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
e-mail: gavrilyuk.o.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7057-2499>

FLUID REGIME AND ORE WATER OF BITUMINO-HYDROTHERMAL MINERAL ASSOCIATIONS IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONETSK GRABEN

The fluid regime of bitumen-hydrothermal mineral associations on the ore fields of the Western Donetsk graben, which are part of the Dnieper-Donetsk paleorift, has certain geochemical features. It is conditioned by the peculiarities of geological development, structure and the current level of tectonic activity of the region.

The purpose of the article is to study the fluid regime of bitumen-hydrothermal mineral associations and the participation of hydrocarbons in the hydrothermal process.

The research methodology consisted of a theoretical interpretation of laboratory studies, in particular chemical analyzes of rocks, ore minerals, bitumen, groundwater and gases, as well as isotopic analysis of carbon of solid bitumen.

Research results. Field studies have found that bitumen-hydrothermal mineralization in the rocks is naturally timed to tectonically activate anticlinal structures.

The energy source of its formation are the polychronous processes of heat-and-mass transfer, the power of which is determined by the tectonic activity of the zones of deep faults. In the rocks of the region, with the specified type of ore mineralization (mercury and mercury-polymetallic), the halo waters of a certain geochemical specialization are formed, which include chemical elements of ore and impure minerals and bitumen, as well as endogenous fluids. Among such fluids is the carbon of solid hydrocarbon compounds, the isotopic composition of which indicates its inorganic origin.

The presence of bitumen-hydrothermal mineral associations of chemical elements and gases in halo waters of deep origin indicates that hydrothermal systems of the ore fields of the Western Donetsk graben are on the modern, post-hydrothermal stage of development.

The scientific novelty of the material presented in the article is based on several substantive theoretical conclusions, which are based on the actual material of the research carried out by the authors.

The natural affinity of bitumen-hydrothermal associations to tectonically activate structures located in the zones of deep faults has been proved.

The affinity of inorganic carbon bitumino-hydrothermal mineral associations in solid bitumen and chemical elements present in gas jets and groundwater to metamorphic and mantle processes (He, H₂, Hg, CO₂, CH₄, Li, Rb, Cs, etc.) is substantiated, which are manifestations of modern tectonic activity of alpine tectogenesis.

It was substantiated that the formation of the chemical composition of the halo waters of bitumen-

hydrothermal mineral associations is provided both by exchange chemical processes in the system "mineral-water-gas" and by the income of fluids of deep genesis.

The practical significance of the work is conditioned, on the one hand, by the use of ore hydrothermal mineralization in the rocks as a criterion for the search of hydrocarbon accumulations, and on the other hand, by the prediction of the possibility of hydrocarbon compounds upcoming from large depths in which, in abnormal thermodynamic conditions, an inorganic synthesis of hydrocarbons takes place.

Keywords: fluid regime, bitumen-hydrothermal association, Western Donetsk graben, tectonic fault, heat-and-mass transfer, halo water, gases, chemical elements, tectonic phase.

References

1. Arsanova, G. I. (1974). *Rare alkali in the thermal waters of volcanic areas*. Nauka, 111.
2. Bagrij, I. D. (2016). *Water-based hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation and its role in substantiation of search technology*. *Geologicheskij zhurnal*, 2, 107–132.
3. Bezruk, K. O., Lisichenko, G. V., Suyarko, V. G. (2013). *Geochemistry of mercury in underground waters of geological structures of Donetsk folded structure*. Kyiv: IGNS of the National Academy of Sciences of Ukraine and KhNU named after VN Karazin, 132.
4. Belokon', V. G. (1984). *Bassejn r. Seversky Donets as a geodynamic system that reflects the processes of great depths*. *Geologicheskij zhurnal*, 1, 1–13.
5. Beskrovnyj, N. S. (1986). *Petroleum formation: unity of oil and ore formation*. *Zhurnal Vsesojuznogo himicheskogo obshhestva imeni D. I. Mendeleeva*, 5, 569–574.
6. Bondarenko, G. N. (1983) *Formation of the isotope composition of the carbonate system of natural waters*. *Nauk.dumka*, 152.
7. Vetshtejn, V.E., Gavrish, V. K., Gucalo, L. K. (1979). *Isotope composition of hydrogen and oxygen of waters in deep fault zones*. *Sov. Geologija*, 7, 96-103.
8. Voznyak, D. K. (2007) *Microinclusion and reconstruction of the endogenous mineralization conditions*. *Naukova dumka*, 279.
9. Gavrilyuk, O. V. (2015). *Paleohydrogeochemical features of bromine accumulation in the south-eastern part of the Dnipro-Donets valley*. *Seriya: «Geografichni ta geologichni nauki»*, 20 (3), 145-153.
10. Gavrish, V. K., Dobryansky, L. A., Kuril, M. V. (1984) *Mercury-hydrocarbon zoning of the Don-Dniprovsky trough DAN USSR*, 7, 18-21.
11. Zaciha, B. V., Petrichenko, O. I., Dolishnij, B. V., Las'kov, V. A. (1973). *Origin of mineral formation of the Slavic mercury deposit*. *Mineralogicheskij sbornik L'vovskogo universiteta*, 27, 326–332.
12. Dobryansky, L. A., Gavrish, V. K. (1988). *Paragenesis of mercury and hydrocarbons - an important direction of geological research*. *Geological Journal*, 48, 3-11.
13. Ishhenko, L. V. (2015). *Geochemical criteria for the search of hydrocarbons in the east of the Dnipro-Donets depression*. *Visnyk XNU imeni V.N.Karazina*, 48, 88–93.
14. Ishhenko L. V. (2016). *Patterns of placement of hydrocarbon deposits and zones of hydrothermal mineralization in the territory of the eastern part of the Donetsk folded structure*. *Visnyk XNU imeni V. N. Karazina*, 45, 38–42.
15. Ishhenko, L. V. (2017). *Conditions for the formation of bitumen-hydrothermal associations in the anti-clannic structures of the West-Donetsk graben*. *Mizhnarodna naukova konferenciya «Geologiya i geoximiya goryuchy`x kopaly`n»*, pry`svyachenoyi 100-richchyu vid dnya narodzhennya akademika G. N. Dolenka, 69–71.
16. Kirikilica, S. I., Levenshtejn, M. L., Fridman, A. I. (1972). *On the composition and nature of free gas emissions (gas jets) of mercury ore occurrences in the Druzhkov-Kostantinovskaya anticline*. *Geologicheskij zhurnal*, 2, 92–97.
17. Kononov, V. I. (1983). *Geochemistry of thermal waters of modern volcanism (rift zones and island arcs)*. *Nauka*, 216.
18. Ljal'ko, V. I. (1985). *Heat and mass transfer in the lithosphere*. *Naukova dumka*, 259.
19. Lukin A. E. (2004). *On the formation of fluid-conducting fluid systems in oil and gas basins*. *Geologicheskij zhurnal*, 3, 34–45.
20. Lukin, A. E., Pikovskii, Yu. I. (2004). *On the role of deep and super deep fluids in the processes of oil and gas formation*. *Geological Journal*, 2, 21-33.
21. Maslennikov, V.V. (1987). *The similarity of the conditions for the formation of oil gas and mercury deposits*, 10, 108-114.
22. Nant, D. E., Anderson, E. T., Grubbs, D. E. (1965). *On the probable ore-forming magmatic solution and metamorphosed rocks discovered by a deep well in Southern California*. *Geohimija sovremennyh postvulkanicheskikh processov*. Moscow, Russia: Mir, 167-171.
23. Panov, B. S., Korchemagin, V. A., Pilot, I. K. (1974). *Isotope composition of oxygen and carbon of Donbas carbonates*. *DAN USSR*, 3, 226–234.
24. Stebelskaya, G. Ya. A (2017). *New View on the Problem of the Classification of Oil*. *The Bulletin of the VN Karazin KhNU*, 46, 50-56.
25. Stebelskaya, G. Ya. (2017). *Regularities of placement of natural bitumen deposits*. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1, 168-169.
26. Suyarko, V. G. (2006). *Geochemistry of groundwater*. Kharkov, KhNU named after VN Karazin, 296.

27. Suyarko, V. G. (1981). *Hydrogeochemical features and search criteria for mercury deposits in Donbas. Geological Journal*, 2, 147-149.
28. Suyarko, V.G., Zagnitko, V. M., Lisychenko, G. V. (2010). *Structural-geochemical criteria of forecasting of hydrocarbon accumulations (on the example of West-Donetsk graben). Kiev: Salyutis*, 83.
29. Suyarko, V.G., Gavryliuk, O. V. (2014). *On sources and bromine migration in underground waters (on the example of Dnieper-Donetsk aulacogen). The Bulletin of the Kharkiv National University named after VN Karazin Series: "Geology. Geography. Ecology"*, 41 (1128), 70-75.
30. Suyarko, V. G., Ishchenko, L.V., Serdyukova, O.O. (2017). *Geochemical features of the hay water of the main types of hydrothermal mineralization of the Donetsk folded structure. Search and ecological geochemistry*, 1, 44-51.
31. Zubkov, V. S., Stepanov, A. N., Karpov, I. K., Bychinsky, V. A. (1998). *Thermodynamic model of the CH system under conditions of high temperatures and pressures. Geochemistry*, 1, 95-101.
32. White, E. D. (1970). *Deposits of mercury and non-ferrous metals associated with thermal mineral springs. Geochemistry of Ore Deposits. Moscow: The World*, 479-524.
33. Chekalyuk, E. B. (1971). *Thermodynamic foundations of mineral origin of oil. Kiev: Naukova Dumka*, 265.
34. Khokha, Yu. V. 2014 *Thermodynamics of deep hydrocarbons in forecasting of regional gas content. Kyiv: Naukova dumka*, 56.
35. Shumlyansky, V. A. (1983). *Cimmerian metallogenic epoch on the territory of Ukraine. Kyiv*, 234.
36. James, A. N. (1980). *Tow metallogenic maps for North America. Geol. Rundshall*, 69, 594-608.
37. Giardini, A. A., Melton, C. E. (1982). *Evidence that stable carbon isotops are not a reliable criterion for distinguishing biogenetic from non-biogenic petroleum. Petrol. Geol.*, 4, 437-439.
38. Ellis, A. I., Mahon, W. A. (1964). *Natural hydrothermal sestems and experimental hot water. Geohim. et Cosmochim. Acta*, 8, 1323-1357.
39. Mollex, G., Furi, E., Burnard, P. (2018). *Tracing helium isotope compositions from mantle source to fumaroles at Oldoinyo Lengai volcano, Tanzania. Chemical Geology*, 480, 66-74.
40. White, D. E. (1957). *Magmatic, connate and metamorphic water. Bull. Geol.Soc.Amer*, 12, 1659-1682.

ГЕОГРАФІЯ

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,
slavrik1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2604-2500>;

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,
wawa1975@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2509-6956>

КОНСТРУКТИВНО-ГЕОГРАФІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано розробку універсального алгоритму досліджень ландшафтно-технічних систем. Зазначено, що кожен етап таких досліджень передбачає детальний аналіз блокової структури ландшафтно-технічної системи та її взаємозв'язків з навколишнім середовищем. Оптимальною є діяльність експертної групи з чотирьох дослідників, з яких – три особи (фахівці у галузях народного господарства) аналізуватимуть блоки, а одна особа (інженер-ландшафтознавець) координуватиме їх дії. Перший етап досліджень полягає в оцінці стану кожного окремого блоку ландшафтно-технічної системи (блоку управління, технічного блоку і природного блоку). Другий етап досліджень передбачає ідентифікацію стадії розвитку ландшафтно-технічної системи. На третьому етапі здійснюється вибір можливого подальшого розвитку ландшафтно-технічної системи. Загалом, розроблено шість варіантів розвитку, кожен з яких зорієнтований на активність контролю з боку блоку управління. На останньому етапі досліджень розпочинається оптимізація, під час якої здійснюється комплекс заходів, спрямованих на відновлення роботи ландшафтно-технічної системи. Зроблено висновок про те, що у подібних дослідженнях першочергова роль відводиться інженерам-ландшафтознавцям, оскільки від їхніх універсальних знань, умінь та навичок залежатиме майбутня життєдіяльність ландшафтно-технічних систем.

Ключові слова: ландшафтно-технічна система, розвиток, стадія, критерії, оцінка, блокова структура, контроль, оптимізація.

А.Д. Лаврик, В.В. Цимбалюк. КОНСТРУКТИВНО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ РОЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. В статье предложена разработка универсального алгоритма исследований ландшафтно-технических систем. Отмечено, что каждый этап таких исследований предусматривает детальный анализ блочной структуры ландшафтно-технической системы и ее взаимосвязей с окружающей средой. Оптимальной является деятельность экспертной группы из четырех исследователей, из которых – три участника (специалисты в отрасли народного хозяйства) будут анализировать блоки, а один участник (инженер-ландшафтовед) координировать их действия. Первый этап исследований заключается в оценке состояния каждого отдельного блока ландшафтно-технической системы (блока управления, технического блока и природного блока). Второй этап исследований предполагает идентификацию стадии развития ландшафтно-технической системы. На третьем этапе осуществляется выбор возможного дальнейшего развития ландшафтно-технической системы. В общем, разработано шесть вариантов развития, каждый из которых ориентирован на активность контроля со стороны блока управления. На последнем этапе исследований начинается оптимизация, при которой осуществляется комплекс мероприятий, направленных на восстановление работы ландшафтно-технической системы. Сделан вывод о том, что в подобных исследованиях первостепенная роль отводится инженерам-ландшафтоведам, поскольку от их универсальных знаний, умений и навыков будет зависеть будущая жизнедеятельность ландшафтно-технических систем.

Ключевые слова: ландшафтно-техническая система, развитие, стадия, критерии, оценка, блочная структура, контроль, оптимизация.

Постановка проблеми. Нераціональне ведення світового господарства у другій половині ХХ ст. і хаотичне використання природних ресурсів зумовили деградацію багатьох ландшафтно-технічних систем (ЛТЧС). Без належного контролю більшість ЛТЧС переходять до стадії «руйнування». При цьому навіть системи з потужним технічним блоком, починають самознищуватися через втрату управління. Як правило, перехід з однієї категорії до іншої відбувається в одну напрямі: інженерно-технічна споруда (ІТС) →

ландшафтно-інженерна система (ЛІС) → ландшафтно-техногенна система (ЛТС) → власне антропогенний ландшафт (ВАЛ). Проміжок часу, за який ландшафтно-техногенна система перетворюється у власне антропогенний ландшафт, для кожної ЛТЧС різний. Він може тривати від кількох місяців до сотні років і залежить від стійкості техногенного покриву та впливу зональних чинників. Існують певні виключення з правил: єгипетські піраміди, Великий китайський мур, місто Мачу-Пікчу – ландшафтно-технічні системи, вік

яких нараховує тисячі років. Тим не менш вони рано чи пізно зруйнуються без технічної підтримки людини.

Зараз на території України є багато блокових систем, які знаходяться на межі переходу до категорії «власне антропогенного ландшафту». Їх ще можна врятувати і відновити діяльність. Першочергова роль тут має надаватися представникам інженерного ландшафтознавства – фахівцям, які поєднують технічні уміння та ґрунтовні знання з фізичної і соціально-економічної географії. Для оцінки стану блоків, ідентифікації стадії розвитку та вибору шляхів оптимізації потрібен певний алгоритм дій, який враховуватиме специфіку досліджуваної «ландшафтно-технічної системи».

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема взаємодії техніки і природи у науковій літературі не нова. Становлення концепції природно-технічних систем (геотехнічних систем) відбувалося у 60-х роках ХХ ст. і пов'язане з дослідженнями І. П. Герасимова, Л. Ф. Куніцина, В. С. Преображенського, О. Ю. Ретеюма, К. М. Дьяконов [2; 11]. Зокрема, О.Ю. Ретеюм дає таке визначення геотехнічних систем – «поєднання, у яких режим частин як природної, так і технічної – визначається матеріально-енергетичними та інформаційними прямими і зворотними зв'язками, так що їх сукупність володіє властивостями відособленого цілого, функціонування якого має цілеспрямований характер» [12, с. 51].

Зростання обсягів видобування корисних копалин зумовлює розвиток нових наукових напрямів – інженерної геології та інженерної геоморфології. Проблема природно-технічних систем (ПТС) розглянута у роботах Г. К. Бондарика, А. Л. Ревзона, О. Н. Толстихіна. За А. Л. Ревзоном, ПТС – це «сукупність форм і станів взаємодії компонентів природного середовища з інженерними спорудами на всіх стадіях функціонування, від проектування до реконструкції».

Місцем техногенних комплексів у ландшафтній сфері Землі зацікавився Ф. М. Мільков, за яким: «при визначених умовах самі інженерні споруди стають ландшафтними комплексами» [8, с. 53]. Так була запропонована ідея про стадійність розвитку ЛТЧС. У 1978 р. він виокремив у структурі антропогенних ландшафтів ландшафтно-техногенні (ЛТС) та ландшафтно-інженерні системи (ЛІС). До ЛТС були віднесені блокові системи з пасивним техногенним покривом, до ЛІС – з активним [7].

З 70-х років ХХ ст. низка представників вінницької школи антропогенного ландшафтознавства на чолі з професором Г.І. Денисиком [1] працюють над дослідженням антропогенних ландшафтів України. Окремі публікації О.О. Антонюк, О.І. Бабчинської, О.М. Вальчук, І.М. Войни,

В.М. Воловика, І. П. Гамалій, А.В. Гудзевича, В.В. Канської, А.Г. Кізюн, Л.М. Кирилюка, І.П. Козинської, І.В. Кравцової, Г.С. Хаєцького та Ю.В. Яцентюка стосуються вивчення ландшафтно-технічних систем. Деякі аспекти регіонального поширення ЛТЧС були розглянуті автором на прикладі долин річок Правобережної України [5] та запропоновано відновити розробку безпідставно забутого наукового напрямку – інженерного ландшафтознавства [4; 9].

На початку ХХІ ст. «геотехнічні системи» та «природно-технічні системи» є об'єктом дослідження геоекологів. Сприймаючи такі системи як нерозривну сукупність природних і технічних блоків, науковці детально аналізують лише трансформацію окремих геокомпонентів [6; 13] або вплив інженерно-технічних споруд на навколишнє середовище [17; 19; 22; 23]. Значна увага приділяється питанням управління системами та моніторингу їх функціонування [10; 14].

У зарубіжній географії схожі дослідження проводять у галузі ландшафтно-інженерії. G. McKenna & V. Cullen під «ландшафтною інженерією» розуміють міждисциплінарну галузь, яка передбачає застосування техніки та прикладних наук у проектуванні та створенні антропогенних ландшафтів [20]. М. Cetin проводить такі дослідження, спрямовані на захист забудованих територій (селитебних ландшафтів, О.Л.) від надзвичайних ситуацій різного характеру [16]. D. R. Steward & E. A. Bernard поєднують методи інженерії та ландшафтного планування при вирішенні проблем зниження рівня ґрунтових вод [21]. F. Çelik пояснює екологічні проблеми сучасності з певними прорахунками у ландшафтному плануванні, виокремлюючи новий науковий напрям – екологічний ландшафтний дизайн [15]. Починаючи з 2005 р., Міжнародним консорціумом ландшафтно-інженерії та екологічної інженерії для захисту та поліпшення навколишнього середовища в умовах зменшення біорізноманіття, опустелювання, глобального потепління та інших екологічних умов було ініційовано видання журналу «Landscape and Ecological Engineering» [18], на сторінках якого представлені оригінальні статті, звіти та огляди з усіх аспектів збереження, відновлення та управління екосистемами.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Різноплановість поглядів на трактування основних понять (природно-технічна система, геотехнічна система, ландшафтно-технічна система тощо) з позиції різних наук, спрямованість на оптимізацію лише одного блоку системи, неузгодженість координації між діяльністю блоків призводить до неповноцінного використання ЛТЧС. Розробка універсального алгоритму дослідження ландшафтно-технічних систем має важливе конструктивно-географічне

значення, оскільки допоможе продовжити їх життєдіяльність і підвищить коефіцієнт корисної дії для народного господарства держави.

Формулювання мети статті. На основі попереднього досвіду розкрити конструктивно-географічне значення досліджень ландшафтно-технічних систем, яке передбачає розробку поетапних дій щодо оцінки стану блокової структури, ідентифікації стадій, вибору варіантів розвитку та остаточної оптимізації ЛТЧС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження ландшафтно-технічних систем складаються з комплексу послідовних етапів (рис. 1), які спрямовані на подальше раціональне використання ЛТЧС. Кожен етап передбачає детальний аналіз блокової структури та взаємозв'язків з навколишнім середовищем, що у

кінцевому результаті дасть змогу визначити подальше використання системи. В ідеальному варіанті розвитку подій будь-яка ландшафтно-технічна система повинна приносити користь народному господарству. Однак так буває не завжди. Відновлення діяльності деяких систем може призвести до погіршення масо- та енергообмінних процесів або підвищення ризику техногенної аварії. Тому перед початком дослідження ЛТЧС важливо враховувати актуальну соціально-економічну ситуацію у регіоні, екологічний стан навколишнього середовища та можливість майбутнього технічного обслуговування системи. Лише за таких умов варто приймати рішення щодо доцільності оптимізації ландшафтно-технічних систем.

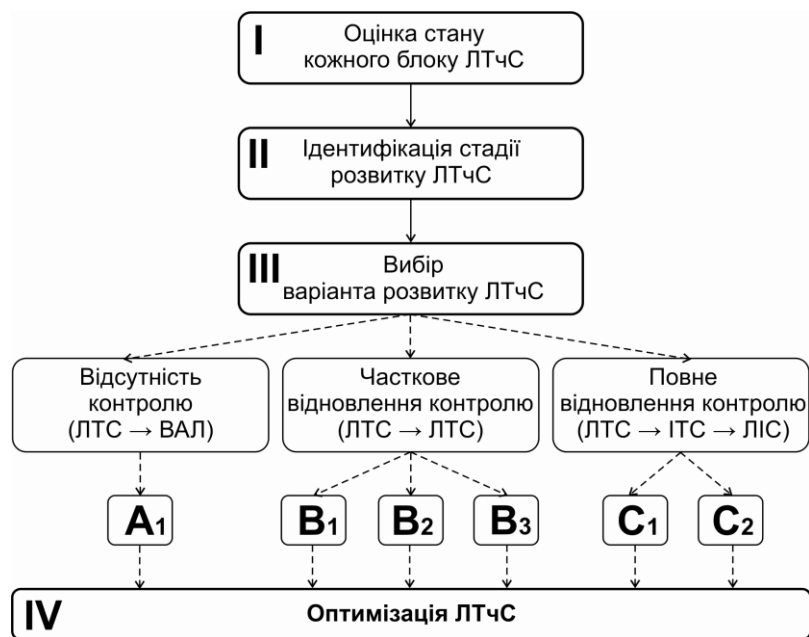


Рис. 1. Конструктивно-географічний алгоритм досліджень ЛТЧС

Перший етап досліджень полягає в оцінці стану кожного окремого блоку ландшафтно-технічної системи. У залежності від кількості учасників експертної групи, дослідження блоків можна здійснювати як послідовно, так і паралельно, попередньо узгодивши дії з адміністрацією ЛТЧС. Оптимальною є діяльність 4 дослідників, з яких 3 особи (фахівці у галузі) аналізуватимуть окремі блоки, а 1 особа (інженер-ландшафтознавець) координуватиме їх дії.

Під час вивчення роботи управлінського блоку проводиться детальний розгляд наявної документації (технічного проекту ІТС, перспективних планів роботи, щорічних і щоквартальних звітів, посадових інструкцій, результатів перевірок відповідними державними установами). У безпосередньому спілкуванні з персоналом ЛТЧС визначається рівень його компетентності та відповідального ставлення до посадових обов'язків.

Особлива увага надається аналізу роботи технічного блоку, специфіка якої передбачає врахування його галузевого спрямування. При проведенні перевірки функціональності основних механізмів ЛТЧС обов'язковим є врахування державних стандартів України (ДСТУ), норм і правил безпеки у роботі з технічним обладнанням. Для визначення ефективності роботи ЛТЧС для народного господарства варто скористатися класичною формулою (1).

$$ККД_{ЛТЧС} = \frac{A}{Q} \times 100\%, \quad (1)$$

де А – корисна робота (отримана енергія); Q – затрачена енергія.

Оцінка стану природного блоку передбачає проведення польових досліджень не лише у проєктованих межах ЛТЧС, а й на території суміжних ландшафтних комплексів. З цією метою детально вивчається історія господарського осво-

ення регіону, історичні та картографічні джерела. У ході робіт здійснюється детальний покомпонентний аналіз усіх складових ландшафту, а також виявлення впливу зональних чинників на техногенний покрив ЛТЧС.

Результати досліджень певної ЛТЧС пропонується оформити за допомогою методу експертних оцінок. При формуванні оціночних таблиць

враховуються основні критерії (табл. 1), які враховують специфіку кожного блоку системи. Кількість критеріїв може бути довільною і має враховувати специфіку функціонування ЛТЧС. Відповідність стану блоків критеріям оцінювання визначається за умовною 5-бальною шкалою: від 1 до 5. Для кожної категорії ЛТЧС визначено

Таблиця 1

Оцінка стану блоків ландшафтно-технічної системи (в балах)

№ з/п	Основні критерії оцінювання стану блоків ЛТЧС	Максимально можлива кількість балів оцінки (K_p) для різних категорій ЛТЧС			
		ІТС	ЛІС	ЛТС	ВАЛ
1. УПРАВЛІНСЬКИЙ БЛОК (УБ)					
1.1.	Врахування специфіки природних умов і соціально-економічної ситуації у регіоні при проектуванні ЛТЧС	5	5	2	1
1.2.	Наявність внутрішнього контролю за роботою ЛТЧС (з боку відповідальної особи або власника)	5	5	2	1
1.3.	Наявність зовнішнього контролю за роботою ЛТЧС (з боку органів державної влади)	5	5	2	1
1.4.	Використання ЛТЧС за призначенням	5	5	2	1
1.5.	Якість ведення нормативної документації	5	5	2	1
1.6.	Якість обслуговування технічного блоку ЛТЧС	5	5	2	1
1.7.	Якість догляду за природним блоком ЛТЧС	5	5	2	1
1.8.	Своєчасність ремонту технічного обладнання ЛТЧС	5	5	2	1
Середній бал оцінки стану ($C_{\text{УБ}}$)		5	5	2	1
2. ТЕХНІЧНИЙ БЛОК (ТБ)					
2.1.	Ефективність роботи для народного господарства ($KK_{\text{ЛТЧС}}$)	5	5	2	1
2.2.	Дотримання держаних стандартів (ДСТУ), норм і правил безпеки у роботі основних механізмів	5	5	2	1
2.3.	Стабільність функціонування ЛТЧС	5	5	2	1
2.4.	Збільшення площі техногенного покриття за рахунок руйнування природного блоку	5	5	2	1
2.5.	Функціональність основних механізмів ЛТЧС	5	5	2	1
2.6.	Надійність несучих конструкцій споруд	5	5	2	1
2.7.	Прояв техногенних впливів на природний блок (вплив забруднень, шумових ефектів, вібрації)	5	5	2	1
2.8.	Активність формування нових рельєфу (за рахунок техніки)	5	5	2	1
Середній бал оцінки стану ($C_{\text{ТБ}}$)		5	5	2	1
3. ПРИРОДНИЙ БЛОК (ПБ)					
3.1.	Активність формування геоекотонів	1	3	5	5
3.2.	Прояв впливу зональних чинників на техногенний покрив (корозія, наявність тріщин, гниття дерев'яних конструкцій)	1	3	5	5
3.3.	Збільшення площі природного блоку за рахунок руйнування техногенного покриття	1	3	5	5
3.4.	Прояв несприятливих природних процесів (зсуви, осипи, обвали, підтоплення, замулювання тощо)	1	3	5	5
3.5.	Активність зростання зональних видів рослин (непередбачених проектом)	1	3	5	5
3.6.	Активність формування ареалів диких тварин	1	3	5	5
3.7.	Активність формування культурного шару ґрунту	1	3	5	5
3.8.	Активність формування нових рельєфу (без втручання техніки)	1	3	5	5
Середній бал оцінки стану ($C_{\text{ПБ}}$)		1	3	5	5

Примітка: «5» – дуже високий бал відповідності; «4» – високий бал відповідності; «3» – середній бал відповідності; «2» – низький бал відповідності; «1» – відсутність відповідності.

можливу кількість балів (у діапазоні від мінімального до максимального значення). Після аналізу блокової структури ЛТчС визначається середній бал (Сб) оцінки стану (2):

$$Cб = \frac{Kp_1 + Kp_2 + Kp_3 + \dots + Kp_n}{n}, \quad (2)$$

Kp – бальна оцінка стану блоку за окремим критерієм; n – кількість критеріїв.

Другий етап досліджень передбачає ідентифікацію стадії розвитку ЛТчС [3]. За даними оцінювання блоків формується зведена таблиця, у яку вносяться отримані результати (табл. 2). Визначення стадії розвитку здійснюється на основі співвідношення середніх балів окремих блоків ЛТчС. У табл. 2 середні бали для кожної категорії подані у діапазоні від найменшого до найбільшого значення. За такої умови виникає множина комбінацій співвідношень. Їх аналіз засвідчує стадію розвитку ландшафтно-технічної системи. Так, співвідношення (1 : 1 : 1), (5 : 5 : 1) говорять про те, що система знаходиться на стадії «зародження»; (3 : 3 : 2), (5 : 5 : 3) – на стадії «функціонування»; (1 : 2 : 4), (1 : 1 : 5) – на стадії «руйнування» тощо. При використанні такої методики можливе виникнення похибок, оскільки співвід-

ношення, характерні для стадії «руйнування» і функціонування геокомпонентної системи, матимуть однакові значення (1 : 1 : 4 або 1 : 1 : 5). За такої обставини остаточна ідентифікація стадії ґрунтується на порівнянні отриманих цифрових даних з урахуванням експертних висновків кожного фахівця дослідної групи.

На третьому етапі дослідна група оприлюднює результати роботи і тісно співпрацює з адміністрацією ЛТчС або відповідного регіону. Ідентифікація стадій розвитку ЛТчС дає можливість внести корективи у діяльність кожного блоку. З метою коригування, діяльність системи варто призупинити на певний час для того, щоб ліквідувати усі проблеми, які можуть спричинити її деструкцію. У випадку виявлення стадії «руйнування» – (відрізок DE на лінії залежності (рис. 2) – необхідно визначити можливі варіанти майбутнього розвитку ЛТчС. Цей вибір має бути здійснений за короткий час, оскільки прояв зональних чинників у ландшафтно-техногенних системах надзвичайно інтенсивний. Неузгодженість дій дослідників і представників влади регіону може призвести до остаточного руйнування її блокової структури.

Таблиця 2

Визначення стадії розвитку ЛТчС

Середній бал (Сб) оцінки стану блоків ЛТчС	Стадія розвитку ЛТчС			
	«Зародження»	Функціонування	«Руйнування»	Функціонування геокомпонентної системи
Сб _{уб}	1–5	3–5	1–2	1
Сб _{тб}	1–5	3–5	1–2	1
Сб _{пб}	1	2–3	4–5	5

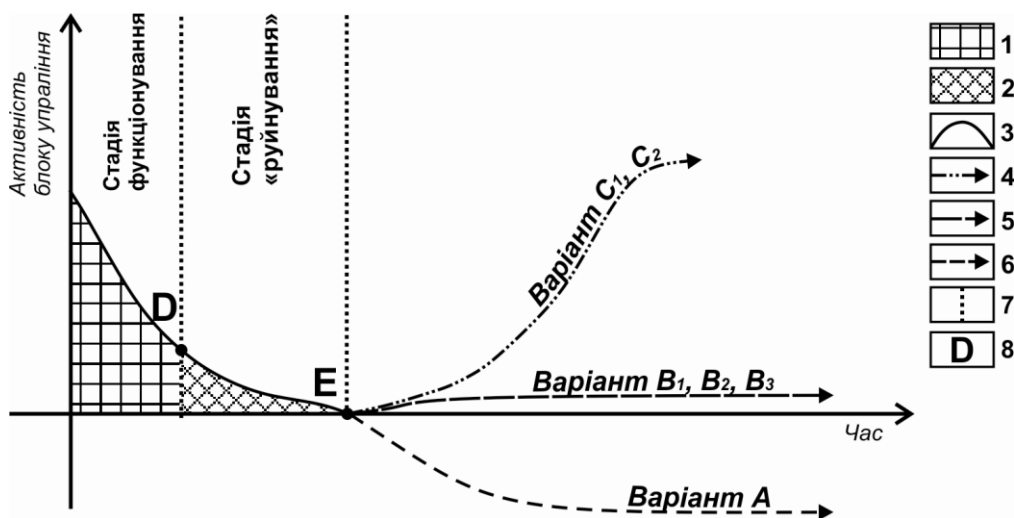


Рис. 2. Варіації розвитку ландшафтно-технічних систем:

1 – ландшафтно-інженерна система; 2 – ландшафтно-техногенна система; 3 – лінія залежності тривалості стадій ЛТчС від активності блоку управління; 4 – напрям розвитку ЛТчС до категорії ІТС та ЛПС; 5 – напрям незмінного розвитку ЛТчС; 6 – напрям розвитку ЛТчС до ВАЛ; 7 – межі між стадіями розвитку ЛТчС; 8 – «критичні» точки на лінії залежності

Загалом, розроблено шість варіантів розвитку (рис. 2) ландшафтно-технічних систем. Кожен з них зорієнтований на прояв (або не прояв) активності контролю з боку блоку управління.

Варіант А. Ландшафтно-техногенну систему повністю залишають без контролю. Її розвиток продовжує проходити за природними законами. Площа техногенного покриву неухильно скорочується. З часом блокова система перетворюється на компонентну. У залежності від ступеня трансформації природного блоку власне антропогенний ландшафт може відновитися до початкового стану (≈ 50 – 60%) і функціонувати, підпорядковуючись зональним чинникам. Так, днища спущених ставків перетворюються на заболочені заплавні урочища з заростями осоково-рогозових асоціацій. Однак, якщо первинний (натуральний) ландшафт був докорінно змінений, а техногенний блок характеризувався складною структурою, то ВАЛ ніколи не відновиться до стану натурального ландшафту. Такими прикладами є покинуті кар'єрні розробки у долинах річок. Знищені надзаплавні тераси, ущільнений щебенем (на глибину до 1 м) ґрунтовий покрив заплави, «штучні» схили з пустих порід, залишки технічних конструкцій і сумішей призводять до поступової деградації долинно-річкового ландшафту. Не маючи блоку управління, маловірогідним є те, що ЛТС або ВАЛ будуть повноцінно функціонувати і розвиватися. В умовах соціально-економічної нестабільності такі системи постійно зазнаватимуть неконтрольованих впливів з боку людини. Часто зруйновані ЛТС з часом перетворюються на смітники або стихійні звалища відходів тощо. Це ще більше посилює негативний вплив на навколишнє середовище і трансформує антропогенний ландшафт. Оптимізація таких систем ускладнюється, оскільки відновлення деградованих ландшафтів потребує витрати значних трудових і фінансових ресурсів. Використання варіанту А є найбільш недоречним при розробці шляхів оптимізації ЛТЧС.

Варіант В₁. Виявивши стадію «руйнування» ЛТЧС, пропонується відновити частковий контроль над ландшафтно-техногенною системою. При такому варіанті враховується майбутня спрямованість використання системи. Якщо ЛТС буде виконуватиме мінімальну господарську функцію, то оптимізації (ремонту) підлягають ті елементи техногенного покриву, які ще можна відновити. Заміна зношених і зруйнованих деталей здійснюється лише за потреби. Основний вплив тут направлений на природний блок (зменшується площа проективного рослинного покриву, знищуються тварини-шкідники, «зрізається» культурний шар ґрунту). Блок управління здійснює епізодичне втручання у функціонування ландшафтно-техногенної системи. До таких

ЛТС відносяться покинуті ділянки доріг з кам'яним покриттям у лісових масивах. Їх проїжджу частину розчищають від завалів і побутового сміття; поблизу дороги (на відстані 1,5–2 м) вирубують під корінь кущову та деревну рослинність; виїмки та борозни укріплюють асфальтом, бутовим камінням або щебенем. Незначне транспортне навантаження на лісові дороги дає можливість продовжити їх функціональну придатність на десятки років.

Варіант В₂. Ландшафтно-техногенна система повністю змінює функціональне призначення і використовується для рекреації. Стан технічного блоку підтримується на стабільному рівні. Усі деталі та основні агрегати підлягають захисту від корозії (їх відчищають, змащують, фарбують тощо). Механізми не здатні виконувати своїх функцій. Їх основне призначення полягає у візуалізації своєї колишньої діяльності та формуванні естетичного (вінтажного) ефекту для рекреантів. У межах будівель та поблизу знищується рослинний покрив та облаштовуються шляхи для під'їзду екскурсій. Оригінальними ЛТС можуть бути стаціонарні «музеї просто неба». У долинах річок такими об'єктами є колишні «водяні» млини, папірні, цукровані тощо. Крім естетичного призначення їх можна використовувати як кемпінги, готелі або спеціалізовані місця стоянок для спортивного туризму.

Варіант В₃. У природоохоронному відношенні зазначені ЛТС можна використовувати як мікроядра для сполучення екологічних коридорів у річкових долинах. При цьому блок управління виконує вибіркові заходи щодо оптимізації технічного та природного блоків. З метою збереження окремих видів рослин і тварин, відновленням технічного покриву можна знехтувати. Його відновлення здійснюється лише у випадку загрози функціонуванню природного блоку. При такому варіанті варто використовувати передовий закордонний досвід природоохоронної діяльності. Так, у деяких природних парках Західної Європи не демонтують старі споруди, оскільки їх дахи та стіни є ареалами рідкісних видів рослин і тварин. На території таких природоохоронних об'єктів варто виокремлювати зони особливого контролю, де забезпечуватиметься спокій для повноцінного розвитку біоти. Право відвідування таких ландшафтно-техногенних систем надаватиметься лише співробітникам відповідних організацій або можливе за спеціалізованими перепустками.

При *варіанті С₁* приймається рішення відновити роботу системи до її початкового стану. Така ЛТЧС повинна виконувати своє попереднє господарське призначення до входження у стадію «руйнування». У першу чергу повністю відновлюється блок управління, який здійснює контроль за відбудовою техногенного покриву і пода-

льшою діяльністю інженерно-технічної споруди. Технічний блок підлягає докорінній перебудові. Непрацюючі деталі та зруйновані агрегати демонтують. Від попередньої ЛТС залишають лише ті частини техногенного покриву, які ще здатні витримувати навантаження і придатні для ремонту (фундаменти, стіни, опори). У ході робіт значного впливу зазнає природний блок: змінюється рельєф; сформовані ґрунти «закривають» ґрунто-сумішами, бруківкою або асфальтом; деревні та кущові форми рослинності замінюють трав'яними. Колишня ЛТС переходить до категорії ІТС і починає виконувати свою попередню господарську функцію. Такими ландшафтно-технічними системами часто стають мости, дамби, хвилерізи. Їх повторне формування визначається природними умовами і є соціально-економічною необхідністю населення, яке проживає на відповідних територіях.

Варіант С₂. Повне відновлення контролю спрямоване на зміну функціонального призначення ЛТЧС. Фактично відбувається будівництво нової інженерно-технічної споруди у зручному місці. Технічний блок попередньої ЛТС анулюється, не залишаючи навіть фундаментів. Замість нього формують інший техногенний покрив з використанням нових будівельних матеріалів. Зміни, які відбуваються у природному блоці аналогічні попередньому варіанту. Прикладами зміни господарської функції ЛТЧС з докорінним переформуванням їх блокової структури є затоплення водосховищами населених пунктів у долинах річок, руйнування оборонних валів і курганів для будівництва польових зрошувальних систем, прокладання нових автомагістралей через дачні

ділянки тощо.

Після вибору варіанта розвитку ЛТЧС розпочинається її оптимізація. Це прикладний етап дослідження, під час якого здійснюється комплекс заходів, спрямованих на відновлення роботи системи. Врахування специфіки блокової структури ЛТЧС і визначення найдоцільнішого варіанта розвитку (у відповідних фізико- та економіко-географічних умовах регіону) сприятиме продовженню життєдіяльності системи і підвищенню ефективності у відповідній галузі народного господарства. На цьому робота експертної групи закінчується. Відповідальність за майбутню діяльність системи приймають на себе представники новоствореного блоку управління.

Висновки. У дослідженнях ландшафтно-технічних систем першочергова роль відводиться інженерам-ландшафтознавцям. Адже одним із найскладніших завдань, яке постає перед цими фахівцями – обґрунтування і прийняття остаточного рішення (вибір варіанта) щодо подальшої роботи ЛТЧС. Саме від їхніх універсальних знань, умінь та навичок залежатиме кінцевий результат, що забезпечить органічне співіснування контрастних блоків ландшафтно-технічної системи. У сучасних умовах різноманітності інженерних спеціальностей, технологій будівництва і полярності поглядів на структуру антропогенних ландшафтів підготувати таких спеціалістів буде важко, але можливо. Географічні та інженерно-технологічні факультети закладів вищої освіти України мають достатній науковий потенціал для того, щоб спільно здійснювати їх навчання.

Література

1. Денисик, Г. І. Антропогенні ландшафти Правобережної України : монографія / Денисик Г. І. – Вінниця : Арбат, 1998. – 292 с.
2. Дьяконов, К. Н. Становление концепции геотехнической системы / К. Н. Дьяконов // Вопросы географии. Природопользование (географические аспекты). – 1978. – Вып. 108. – С. 54–63.
3. Лаврик, О. Д. Ідентифікація стадій розвитку ландшафтно-технічних систем / О. Д. Лаврик // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : «Геологія. Географія. Екологія». – 2017. – Вип. 46. – С. 101–105.
4. Лаврик, О. Д. Інженерне ландшафтознавство: сучасний стан і перспективи розвитку / О. Д. Лаврик // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – 2016. – Вип. 28, № 1–2. – С. 10–17.
5. Лаврик, О. Д. Річкові ландшафтно-технічні системи: монографія / Лаврик О. Д. – Умань: ВПЦ «Візаві», 2015. – 301 с.
6. Ложкин, И. В. Геоэкологическая оценка трансформации почв в природно-технических системах под влиянием урбанизации (на примере г. Оренбурга) : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. геогр. наук : спец. 25.00.36 «Геоэкология» / И. В. Ложкин. – Оренбург, 2005. – 19 с.
7. Мильков, Ф. Н. Рукотворные ландшафты. Рассказ об антропогенных комплексах / Мильков Ф. Н. – М. : Мысль, 1978. – 86 с.
8. Мильков, Ф. Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения / Мильков Ф. Н. – М. : Мысль, 1973. – 224 с.
9. Пармузин, Ю. Инженерное ландшафтоведение / Ю. Пармузин // Земля и люди. – 1968. – С. 266–269.
10. Попов, А. П. Управление геотехническими системами газового комплекса в криолитозоне : прогноз состояния и обеспечение надежности : автореф. дисс. на соискание науч. степени доктора тех. наук : спец. 25.00.36 «Геоэкология» / И. П. Попов. – Тюмень, 2005. – 48 с.

11. *Природа, техника, геотехнические системы / под ред. В. С. Преображенского. – М. : Наука, 1978. – 151 с.*
12. Ретеюм, А. Ю. *Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы / А. Ю. Ретеюм, К. Н. Дьяконов, Л. Ф. Куницын // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1972. – № 4. – С. 46–55.*
13. Сольский, С. В. *Инженерная защита вод в природно-технических системах на техногенно-нагруженных территориях : автореф. дисс. на соискание науч. степени доктора тех. наук : спец. 25.00.36 «Геоэкология» / С. В. Сольский. – СПб., 2007. – 32 с.*
14. Суздалева, А. Л. *Управляемые природно-технические системы энергетических и иных объектов как основа обеспечения техногенной безопасности и охраны окружающей среды (темы магистерских диссертаций) : учеб. пособ. / Суздалева А. Л. – М. : ИД ЭНЕРГИЯ, 2015. – 160 с.*
15. Çelik, F. *Ecological Landscape Design / F. Çelik // Advances in Landscape Architecture / Murat Ozyavuz (ed.). – InTech, 2013. doi: 10.5772/55760.*
16. Cetin, M. *Landscape Engineering, Protecting Soil, and Runoff Storm Water / M. Cetin // Advances in Landscape Architecture / Murat Ozyavuz (ed.). – InTech, 2013. doi: 10.5772/55812.*
17. DeJong, J. *Geotechnical systems that evolve with ecological processes / Jason DeJong, Mark Tibbett, Andy Fourie // Environmental Earth Sciences. – 2015. – Vol. 73, Is. 3. – P. 1067–1082.*
18. *Landscape and Ecological Engineering : [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.jsrt.jp/iclee/>*
19. *Landscape of Industry : An Industrial History of the Blackstone Valley / Joseph F. Cullon, Jennifer Desai, Gray Fitzsimons [and other]. – University Press of New England, 2009. – 178 p.*
20. McKenna, G. *Landscape design for soft tailings deposits / G. McKenna, V. Cullen // Tailings and Mine Waste '08 : 12th International Conference, 19–22 oct. 2008 [Vail, Colorado, USA] : [digest of articles]. – Boca Raton : CRC Press, 2008. – P. 165–173.*
21. Steward, D. R. *Integrated engineering and landscape architecture approaches to address groundwater declines in the High Plains Aquifer / D. R. Steward, E. A. Bernard // Case Studies in Environmental Engineering and Science / A. Bhandari, M. A. Butkus (eds.). – AEESP, 2007. – P. 121–134.*
22. Ward, J. V. *Landscape ecology : a framework for integrating pattern and process in river corridors / J. V. Ward, F. Malard, K. Tockner // Landscape Ecology. – 2002. – № 17. – P. 35–45.*
23. Wiens, J. A. *Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water / J. A. Wiens // Freshwater Biology. – 2002. – № 47. – P. 501–515.*

UDC 911.3

Oleksandr Lavryk,

PhD (Geography), Assistant Professor, Department of geography and methods of its teaching,
Pavlo Tychnya Uman State Pedagogical University,
Sadova str., 2, building 1, Uman, Cherkassy region, 20300, Ukraine,
e-mail: slavrik1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2604-2500>;

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»,
Nebesnoy Sotny str., 33, Uman, Cherkassy region, 20300, Ukraine,
e-mail: wwala1975@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2509-6956>

CONSTRUCTIVE AND GEOGRAPHICAL VALUE OF LANDSCAPE AND TECHNICAL SYSTEMS RESEARCH

The aim of the research is to reveal the constructive and geographical significance of landscape and technical systems research which involves development of sequential actions to assess the state of the block structure, identification of stages, choice of development options and final optimization.

Methods. The study is based on the use of a systemic and model paradigm in geography. The specific character of the expert group's work with landscape and technical systems is shown on the example of the research algorithm development.

Scientific novelty of the article is universality of the proposed algorithm of research actions in relation to any landscape and technical system.

Practical value is determined by the development of assessment methods, options and ways to optimize landscape and technical systems that are at the stage of «destruction».

Research results. It is noted that each stage of such studies provides for a detailed analysis of the block structure of the landscape and technical system and its interrelations with the environment. The best is the activity of an expert group of four researchers. Three participants (experts in the national economy) will ana-

lyze the blocks and one of them (the landscape engineer) will coordinate their actions.

The first stage of the research is to assess the state of each individual block of the landscape and technical system (control, technical and natural block). Research results of a certain landscape and technical system are proposed to be formalized using method of expert assessments. The main criteria are selected in the formation of evaluation tables, taking into account the specificity of each block of the system.

The second stage of research involves identification of the landscape and technical system's development stage. According to the evaluation of blocks a summary table is formed and the results are added. The development stage is determined based on the ratio of individual blocks average scores of the landscape and technical system.

At the third stage, a choice of possible further development of the landscape and technical system is made. Six variants of development have been considered, each of which is focused on the activity of the control unit. Variant A: the landscape and technogenic system is completely left without any control, its development goes by natural laws. Variant B₁: it is proposed to restore partial control over the landscape and technogenic system. Variant B₂: the landscape and technogenic system completely changes the functional purpose and is used for recreation. Variant B₃: landscape and technogenic systems are used as microkernels for communicating ecological corridors in river valleys. Variant C₁: the system is restored to its original state. Variant C₂: restoration of control is aimed at changing the functional purpose of the former landscape and technical system and carrying out its new construction.

Optimization begins at the last stage of the research when a set of measures aimed at restoring the work of the landscape and technical system is carried out.

The conclusion is made that in such studies the primary role is assigned to landscape engineers, since the future vital activity of landscape and technical systems will depend on their universal knowledge, skills and habits.

Keywords: landscape and technical systems, development, stage, criteria, evaluation, block structure, control, optimization.

References

1. Denysyk, G. I. (1998). *Antropogenic landscape of Right-Bank Ukraine*. Vinnytsa, 292 [in Ukrainian].
2. D'jakonov, K. N. (1978). *Formation of the concept of the geotechnical systems. Questions of Geography. Nature management (geographical aspects)*, 108, 54–63 [in Russian].
3. Lavryk, O. D. (2017). *Identification of stages of development of landscape and technical systems. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Geology. Geography. Ecology*, 46, 101–105 [in Ukrainian].
4. Lavryk, O. D. (2016). *Landscape study engineering: modern situation and prospects of development. Scientific notes of Vinnitsa State Pedagogical University named after Mikhaïlo Kotzubytsky. Series: Geography*, 28 (1–2), 10–17 [in Ukrainian].
5. Lavryk, O. D. (2015). *River landscape and technical systems. Uman*, 301 [in Ukrainian].
6. Lozhkin, I. V. (2005). *Geoecological assessment of soil transformation in natural and technical systems under the influence of urbanization (for example, Orenburg): Extended abstract of candidate's thesis. Orenburg*, 19 [in Russian].
7. Mil'kov, F. N. *Antropogenic landscape. The story of anthropogenic complexes. Moscow*, 86 [in Russian].
8. Mil'kov, F. N. (1973). *Man and landscapes. Essays anthropogenic landscape science. Moscow*, 224 [in Russian].
9. Parmuzin, Ju. (1968). *Landscape study engineering. Earth and people*, 266–269 [in Russian].
10. Popov, A. P. (2005). *Management of geotechnical systems of the gas complex in the permafrost zone: forecast of the state and reliability. Extended abstract of Doctor's thesis. Tyumen*, 48 [in Russian].
11. Preobrazhenskij, V. S. (Ed.). (1978). *Nature, technology, geotechnical systems. Moscow*, 151 [in Russian].
12. Retejum, A. Ju., D'jakonov, K. N., Kunicyn, L. F. (1972). *Interaction of technology with nature and geotechnical systems. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographic series*, 4, 46–55 [in Russian].
13. Sol'skij, S. V. (2007). *Engineering protection of water in natural and technical systems on technogenically loaded territories: Extended abstract of Doctor's thesis. St. Petersburg*, 32 [in Russian].
14. Suzdaleva, A. L. (2015). *Managed natural-technical systems of energy and other objects as the basis for ensuring technogenic safety and environmental protection (themes of master's theses). Moscow*, 160 [in Russian].
15. Çelik, F. (2013). *Ecological Landscape Design. Advances in Landscape Architecture. Murat Ozyavuz (Ed.)*. doi: 10.5772/55760.
16. Cetin, M. (2013). *Landscape Engineering, Protecting Soil, and Runoff Storm Water. Advances in Landscape Architecture. Murat Ozyavuz (Ed.)*. doi: 10.5772/55812.
17. DeJong, J., Tibbett, M., Fourie, A. (2015). *Geotechnical systems that evolve with ecological processes. Environmental Earth Sciences*. 73 (3). 1067–1082. doi: 10.1007/s12666.
18. *Landscape and Ecological Engineering*. Available at : <http://www.jsrt.jp/iclee/>
19. Cullon, J. F., Desai, J., Fitzsimons, G. et al. (2009). *Landscape of Industry: An Industrial History of the Blackstone Valley. University Press of New England*, 178.

20. McKenna, G., Cullen, V. (2008). *Landscape design for soft tailings deposits. Tailings and Mine Waste '08 : digest of articles 12th International Conference (Vail, Colorado, USA, 19–22 oct. 2008). Boca Raton, 165–173.*
21. Steward, D. R., Bernard, E. A. (2007). *Integrated engineering and landscape architecture approaches to address groundwater declines in the High Plains Aquifer. Case Studies in Environmental Engineering and Science. A. Bhandari, M. A. Butkus (Eds.), 121–134.*
22. Ward, J. V., Malard, F., Tockner, K. (2002). *Landscape ecology: a framework for integrating pattern and process in river corridors. Landscape Ecology. 17. 35–45. doi: 10.1023/A:1015277626224.*
23. Wiens, J. A. (2002). *Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. Freshwater Biology. 47. 501–515. doi: 10.1046/j.1365-2427.2002.00887.x.*

Микаилов Аруз Матаф оглы,
аспирант, Бакинский Государственный Университет,
ул. Захид Халилов, 23, г. Баку, Az 1148, Азербайджан,
e-mail: mikayilov84@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5714-3174>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОПУСТЫНИВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ НИЗКОГОРИЙ И ПРЕДГОРНЫХ НАКЛОННЫХ РАВНИН КУРИНСКОЙ ВПАДИНЫ

В статье рассматривается современное состояние процесса опустынивания ландшафтов низкогорий и предгорных наклонных равнин Куринской впадины. В процессе исследования были проанализированы данные наблюдений ландшафтов определенных участков на различных этапах опустынивания, современные космические снимки территории, крупномасштабные топографические карты, а также при помощи программного обеспечения ArcGis 10.3 были составлены карты опустынивания ландшафтов масштабом 1:100000. При составлении карты опустынивания исследуемой территории, были выявлены основные факторы опустынивания, тип и степень опустынивания ландшафтов на определенной территории. На составленных картах были выделены ландшафты категории степени опустынивания ландшафтов: практически не опустыненные; опустыненные в слабой степени; опустыненные в средней степени; опустыненные в сильной степени, а также были рассчитаны их площади.

Было выявлено, что по территории исследования в пределах одной ландшафтной единицы, иногда проявляются все категории степени опустынивания. Исследования показывают, что этот процесс зависит от особенностей влияния природных и антропогенных факторов и структурно-генетических особенностей ландшафтов. Очаги опустынивания подверженные различной степени антропогензации охватывают большие ареалы в составе ландшафтов полупустынь, сухо-степей, аридно-редколесных и кустарников. Эти ландшафты обладающие в основном слабой устойчивостью, характеризуются отрицательным естественным и антропогенным влиянием.

Ключевые слова: Куринская впадина, ландшафт, структурно-генетический, опустынивание, степень опустынивания, группировка, природный, антропогенный, экзодинамический.

А.М. Мікаїлов. СУЧАСНИЙ СТАН ОПУСТЕЛЮВАННЯ ЛАНДШАФТІВ НИЗКОГІР'Я І ПЕРЕДГІРНИХ ПОХИЛИХ РІВНИН КУРИНСЬКОЇ ЗАПАДИНИ. У статті розглядається сучасний стан процесу опустелювання ландшафтів низкогор'я і передгірних похилих рівнин Куринської западини. У процесі дослідження були проаналізовані дані спостережень ландшафтів певних ділянок на різних етапах опустелювання, сучасні космічні знімки території, великомасштабні топографічні карти, а також за допомогою програмного забезпечення ArcGis 10.3 були складені карти опустелювання ландшафтів масштабу 1:100000. При складанні карти опустелювання досліджуваної території, були виявлені основні фактори опустелювання, тип і ступінь опустелювання ландшафтів на певній території. На складених картах були виділені ландшафти категорії ступеня опустелювання ландшафтів: практично не пустельні; пустельні слабого ступеню; пустельні у стані середнього ступеню; пустельні в сильному ступені, а також були розраховані їх площі.

Було виявлено, що по території дослідження в межах однієї ландшафтною одиниці, іноді виявляються всі категорії ступеня опустелювання. Дослідження показують, що цей процес залежить від особливостей впливу природних і антропогенних факторів і структурно-генетичних особливостей ландшафтів. Осередки опустелювання схильні до різного ступеня антропогензації охоплюють великі ареали в складі ландшафтів напівпустель, сухо-степів, аридно-рідколісної і чагарників. Ці ландшафти мають в основному слабку стійкість, характеризуються негативним природним і антропогенним впливом.

Ключові слова: Куринська западина, ландшафт, структурно-генетичний, опустелювання, ступінь опустелювання, угруповання, природний, антропогенний, екзодинамічний.

Введение. Ландшафтные комплексы в пределах низкогорий и предгорных наклонных равнин Куринской впадины, исследуемые в целях опустынивания является центром занятости проживающего здесь населения сельским хозяйством. Современные ландшафты территории характеризуются формированием в условиях аридного климата и склонностью к процессу опустынивания. Исходя из этого территория нуждается в исследовании опустынивания и определении современного состояния ландшафтов. Придается особое значение определения современного состояния процесса опустынивания и дается оценка степени пригодности ландшафтных комплексов в экологии и сельском хозяйстве.

Актуальность темы. Образованный в результате естественных и антропогенных факторов, расширяющий со скоростью свои масштабы, превратившийся в глобальную, социально-экономическую проблему процесс опустынивания, за последние 50 лет изучается в разных

направлениях как опасная экологическая проблема для аридных, семиаридных, семигумидных регионах, и приобретает все большую популярность.

Исследуемая территория обладающая выгодными климатическими условиями и разнообразным рельефом, в результате осования с древних времен и многовековой хозяйственной деятельности, стала причиной трансформации в различной степени. В результате использования природных ландшафтов в различных целях, относительно особенностям рельефа низкогорий и предгорных наклонных равнин освоение ландшафтов в различной степени, образовались ряд факторов опустынивания и очагов опустынивания, что повысило опасность деградации. С этой точки зрения исследование современного состояния опустынивания территории обладает особенной актуальностью.

Изучение проблемы. В настоящее время в условиях глобальных климатических изменений

в мире (Африка, Австралия, Центральная Азия, Центральная Америка и др.), антропогенному воздействию наиболее подвержены аридные, семиаридные и семигумидные ландшафты, и процесс опустынивания как основная глобальная проблема по сегодняшний день изучается отдельными исследователями в различных аспектах [3-5,9-13,16-20].

Обладающая в основном аридным климатом территория Азербайджанской республики, имеет потенциал для создания и развития опустынивания, что способствовало изучению данной проблемы следующими учеными, с 1990 г. в Нахчыванской АР Гулиева С.Ю. [14], северо-восточный склон Малого Кавказа Аскерова Г.Г. [2], Различные территории Кура-Аразской низменности Гарибов Я.А., Юнусов М.И., Исмаилов М.Дж. [8], и др., восточная часть республики Б.А. Будагов, Р.М. Маммедов, Х.Р. Исмадова, А.А. Микаилов [1,6,7]. Авторами на исследуемых территориях были всесторонне изучен процесс опустынивания, также были подготовлены меры борьбы с ним и карты. В целом в пределах исследуемых предгорных и низкогорных территорий Куринской впадины, являющейся самой крупной природной областью и сельскохозяйственной базой страны, процесс опустынивания до сегодняшнего дня не был изучен. С этой точки зрения предоставляемая научно-исследовательская работа имеет важное практическое значение.

Объект исследования. С точки зрения иерархии объекта исследования межгорную Куринскую впадину составляют входящие сюда физико-географические регионы, такие как юго-восточные предгорья Малого Кавказа, Гянджа-Газах, Ганых-Айричайские равнины, низкогорья Джейранчеля и предгорья Аджиноура. Обладая территорией общей площадью 1605241 га, низкогорья и предгорья характеризуются рельефом наклонных равнин.

Цель исследования. Основной целью исследования является определение современного состояния процессов опустынивания ландшафтов низкогорий и предгорий наклонных равнин Куринской впадины, картирование и определение ландшафтов площадей подверженных опустыниванию.

Методика исследования. В определении индикаторов, типов и степеней опустынивания, особая роль принадлежит полустационарным методам исследования в различных пунктах на избранных характерных площадях. На основе этих методов дешифрированием космических снимков была определена точность индикаторов, типов и степеней опустынивания, на одинаковых географических координат.

Решение проблем.

Особенности влияния на ландшафты исследуемой территории природных и антропогенных факторов, являющиеся причиной опустынивания, характеризуются разнообразием по отдельным регионам. Группируя ландшафты территории по степени опустынивания за основные индикаторы были взяты важные критерии, такие как: 1) степень минерализации и глубина залегания грунтовых вод; 2) степень нарушения земной поверхности; 3) Загрязнение и засоление земель; 4) степень покрытия земной поверхности растительностью; 5) интенсивность и направление антропогенной деятельности.

Определяя индикаторы показывающие опустынивание ландшафтов на исследуемой территории, образование очагов опустынивания и причины его образования, были оценены последствия происходящие на поверхности почвенно-растительного покрова и выделены категории по степени опустынивания: 1) практически не опустыненные; 2) опустыненные в слабой степени; 3) опустыненные в средней степени; 4) опустыненные резко в степени.

Вследствие того, что основным индикатором опустынивания ландшафтов является образование растительного покрова, при выделении очагов и степени опустынивания учитывался анализ NDVI космических снимков LANDSAT-8 (2017). Во время анализа NDVI с применением программы ArcGIS 10.3 на основе формулы $(NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED})$ был изобретен индекс NDVI.

При помощи окончательного анализа всех данных приобретенных в полевых и камеральных условиях и использования программного обеспечения ArcGIS, были подготовлены крупномасштабные электронные карты опустынивания и база данных.

На основе статистического анализа ArcGIS базы данных составленных карт опустынивания, были определены площади ареалов опустынивания ландшафтов. При подсчете площадей степени опустынивания по общей территории и отдельным физико-географическим регионам, были использованы количественные показатели.

Природные ландшафты территорий подверженных опустыниванию были предоставлены на основе ландшафтных карт Азербайджанской ССР М.А. Мусеибова, Н.К. Керимова, Ш.Б. Керимова и М.А. Сулейманова [5].

Предоставление основных материалов. Выявление состояния процесса опустынивания аридных ландшафтов является сложным процессом, зависящее в первую очередь от геолого-геоморфологических особенностей, климата, почвенно-растительного покрова, направления

развития опустынивания и особенностей внешних факторов его образования.

Статистический анализ составленных карт группировки ландшафтов территории по степени опустынивания (график 1, таблица 1), показывает, что 740066 га (46,1%) от общей площади ландшафтных комплексов (1605241 га), практи-

чески не были подвержены опустыниванию. Общая площадь комплексов подверженных опустыниванию различной степени составляет здесь 865175 га (53,9%). Из них 183985 га (11,5%) подвержены опустыниванию слабой, 258207 га (16,1%) средней, 422983 га (26,3%) сильной степени.

Таблица 1

Территории степени опустынивания ландшафтов по физико-географическим регионам

Регионы	Площадь исследуемых ландшафтов, га %	Площадь степени опустынивания по регионам, га %				
		Практически отсутствие опустынивания	Опустынивание слабой степени	Опустынивание средней степени	Опустынивание сильной степени	Опустынивание различной степени
Юго-восточное предгорье Малого Кавказа	<u>249281</u> 15,5	<u>65839</u> 26,4	<u>29978</u> 12	<u>52781</u> 21,2	<u>100683</u> 40,4	<u>183442</u> 73,6
Гянджа-Газахская равнина	<u>299638</u> 18,7	<u>193271</u> 64,5	<u>13716</u> 4,6	<u>61949</u> 20,7	<u>30702</u> 10,2	<u>106367</u> 35,5
Джейранчельское низкогорье	<u>344387</u> 21,5	<u>44017</u> 12,8	<u>62586</u> 18,2	<u>78881</u> 22,9	<u>158903</u> 46,1	<u>300370</u> 87,2
Аджиноурское предгорье	<u>323118</u> 20,1	<u>72670</u> 22,5	<u>60843</u> 18,8	<u>59958</u> 18,6	<u>129647</u> 40,1	<u>250448</u> 77,5
Ганых – Айричайская равнина	<u>388817</u> 24,2	<u>364269</u> 93,7	<u>16862</u> 4,3	<u>4638</u> 1,2	<u>3048</u> 0,8	<u>24548</u> 6,3
Всего	<u>1605241</u> 100	<u>740066</u> 46,1	<u>183985</u> 11,5	<u>258207</u> 16,1	<u>422983</u> 26,3	<u>865175</u> 53,9

Графики и таблицы показывают, что площадь ландшафтов по степени опустынивания отдельных физико-географических регионов, характеризуются разнообразием. Таким образом, на территории юго-восточных предгорных равнинах Малого Кавказа, 73,6% ландшафтных комплексов подвержены опустыниванию различной степени. Из них на 26,4% опустынивание практически отсутствует, 12% подвержены слабому опустыниванию, 21,2% среднему опустыниванию средней степени, 40,4% были подвержены сильному опустыниванию (рис. 1).

Общая площадь исследуемых ландшафтных комплексов Гянджа-Газахской равнины составляет 299638 га, что занимает 7,5% Куринской впадины. В целом 35,5% ландшафтов равнины подвержены опустыниванию различной степени. Здесь 64,5% ландшафтов практически не подвержены опустыниванию, 4,6% подвержены сла-

бому опустыниванию, 20,7% подвержены опустыниванию средней степени, 10,2% подвержены сильному опустыниванию (рис. 2).

Общая площадь исследуемых ландшафтных комплексов Джейранчельского низкогорья, составляет 344203 га, что занимает 8,6 % Куринской впадины. В целом 87,2% этих комплексов подвержены опустыниванию различной степени. На территории низкогорья 12,8% ландшафтов практически не подвержены опустыниванию, 18,2% подвержены слабому опустыниванию, 22,9% подвержены опустыниванию средней степени, 46,1% подвержены сильному опустыниванию (рис. 3).

Общая площадь исследуемых ландшафтных комплексов Аджиноурского предгорья, составляет 323118 га, что занимает 8,1% Куринской впадины. В целом 77,5% этих комплексов подвержены опустыниванию различной степени. На тер-

Определение типов и степени опустынивания на наблюдаемых территориях

Территория взятое за образец	Высота над уровнем моря (в м.)	Географические координаты	Доминантность видов растений	Нарушение растительного покрова (1 м ² в %)	Степень опустынивания	Основные факторы опустынивания
1 Шеки-2 км северо-вост. деревни Большой Дахна- южный скл. Сарыдага	459	40°58'37" 47°8'25"	Ксерофиты	94	Резкое	Природно-антропогенный
2 Самух-север 1 км деревни Красный Самух (Джейранчел)	100	40°57'22" 46°22'39"	Галофиты	91	Резкое	Антропогенный
3 Восточная часть озера Аджиноур, 1,5 км	122,4	40°57'8" 47°1'35"	Галофиты г	95	Резкое	Природно-антропогенный
4 2 км севернее от Мингечаур, хребет Боздаг	258,1	40°47'1" 47°3'23"	Галофиты, Ксерофиты	97	Резкое	Природный

Сравнение степени опустынивания ландшафтов по физико-географическим регионам (в %)

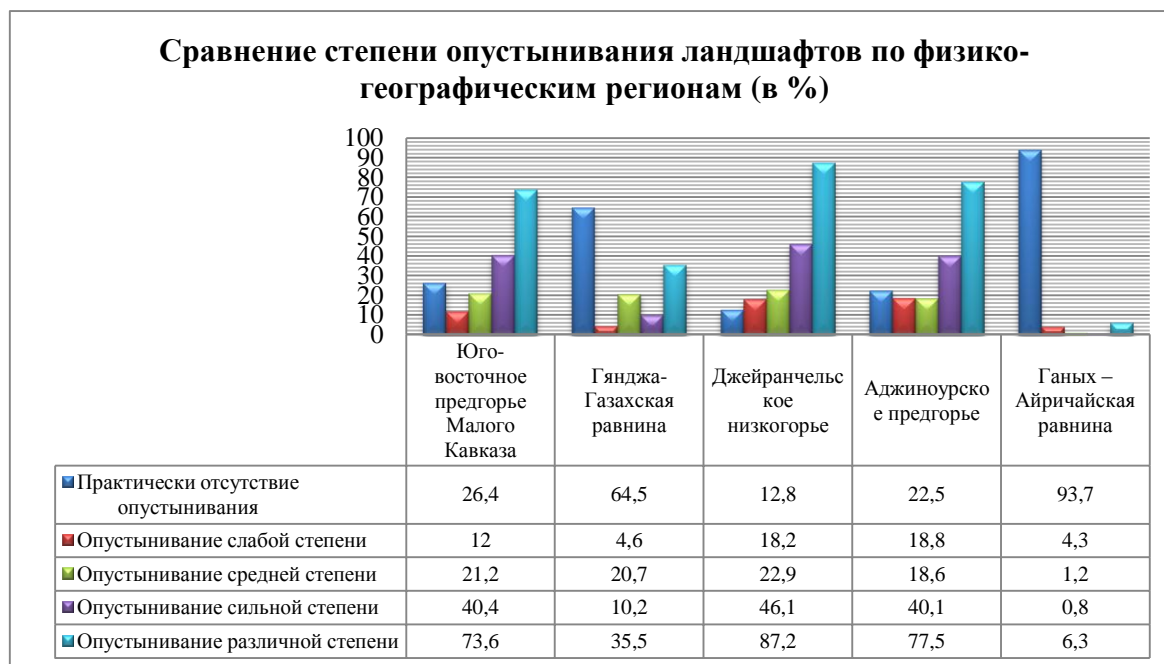


График 1

ритории предгорья 22,5% ландшафтов практически не подвержены опустыниванию, 18,8% подвержены слабому опустыниванию, 18,6% подвержены опустыниванию средней степени, 40,1% подвержены сильному опустыниванию (рис. 4).

Общая площадь исследуемых ландшафтных комплексов Ганых-Айричайской равнины, составляет 392853 га, что занимает 9,8% Курин-

ской впадины. В целом 6,3% этих комплексов подвержены опустыниванию различной степени. На территории равнины 93,7% ландшафтов практически не подвержены опустыниванию, 4,3% подвержены слабому опустыниванию, 1,2% подвержены опустыниванию средней степени, 0,8% подвержены сильному опустыниванию (рис. 5).

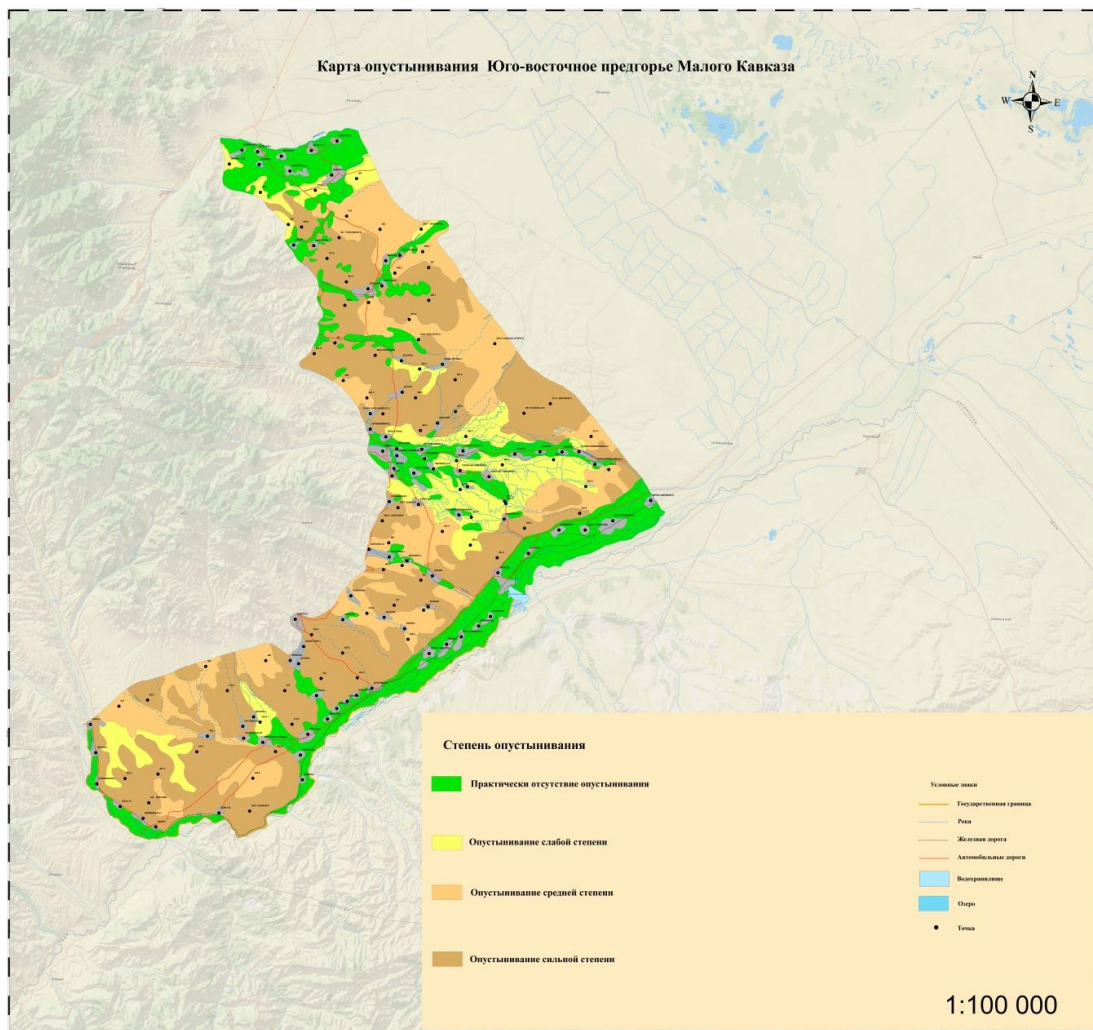


Рис. 1. Карта опустынивания Юго-восточных предгорных равнин Малого Кавказа

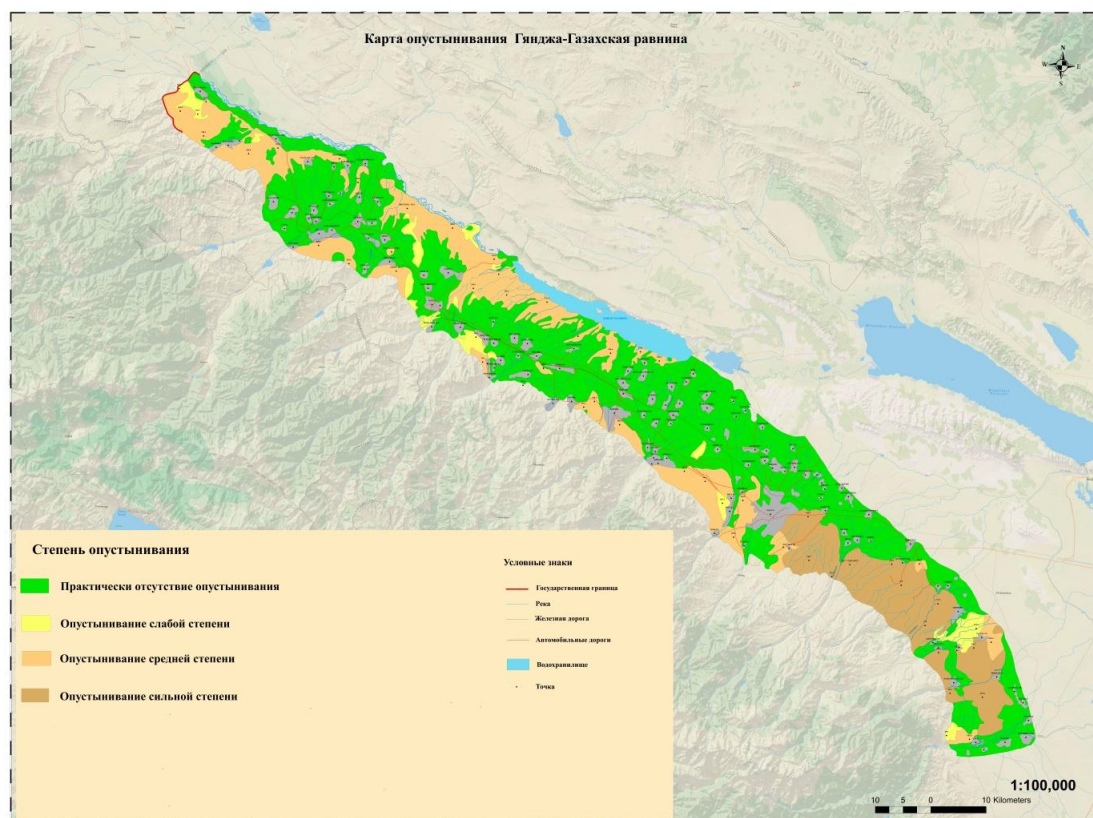


Рис. 2. Карта опустынивания Гинджа-Газакской равнины

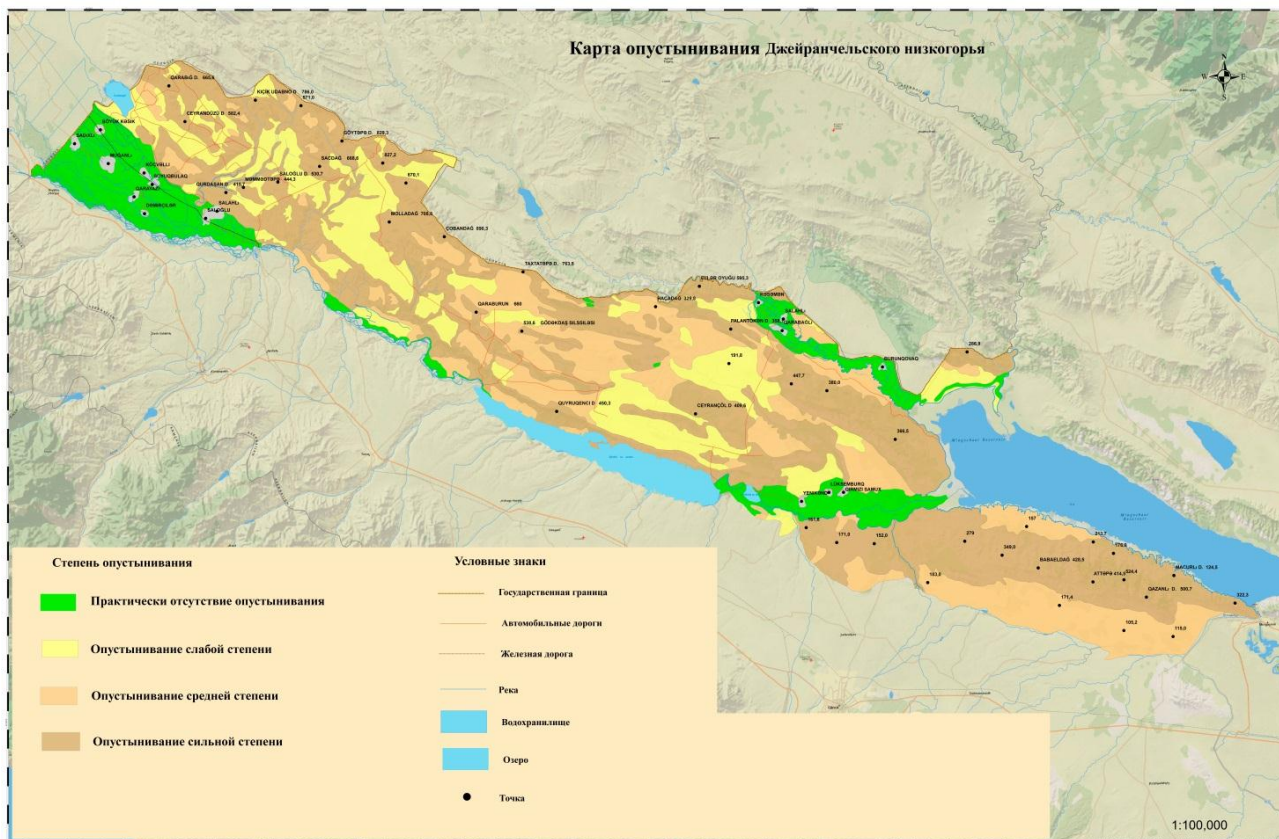


Рис. 3. Карта опустынивания Джейранчельского низгорья

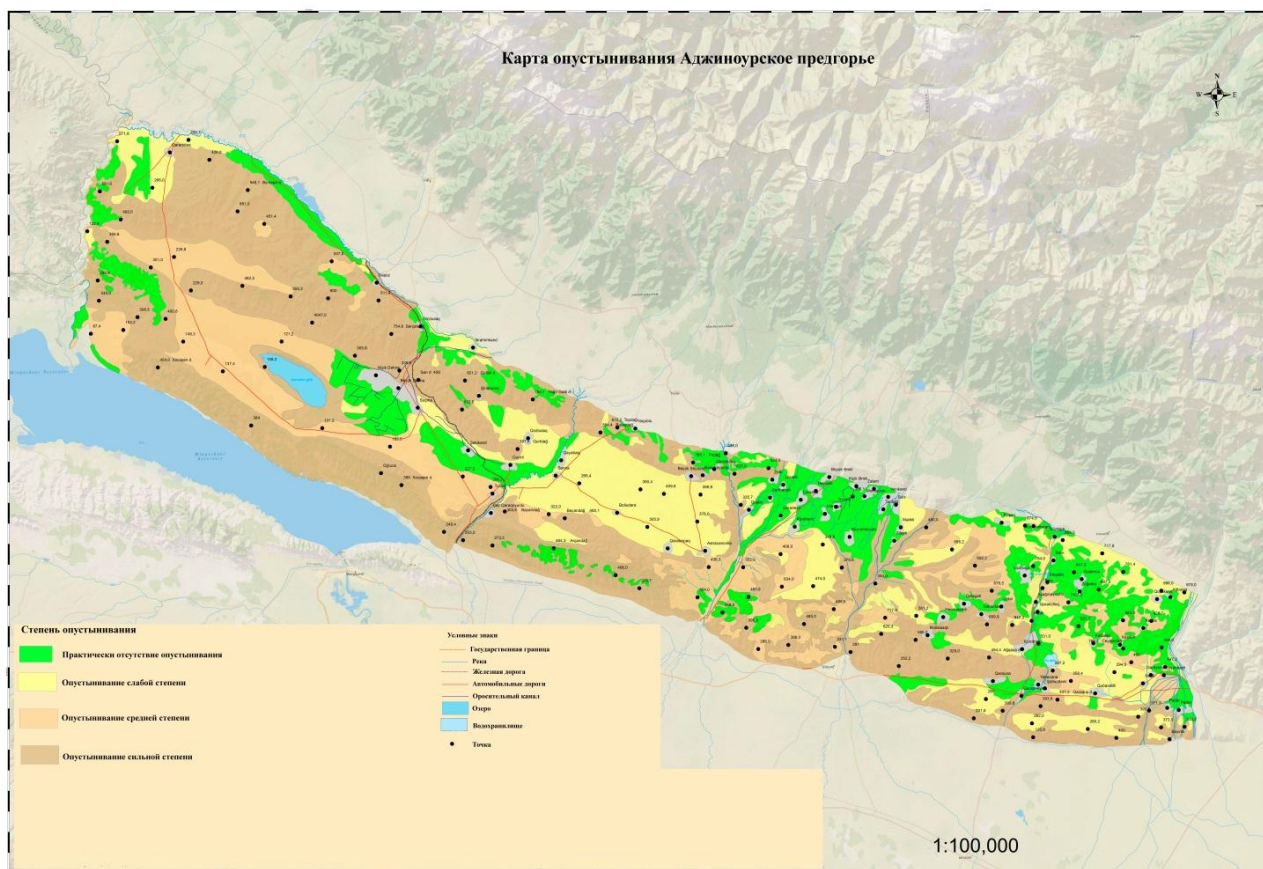


Рис. 4. Карта опустынивания Аджиноурское предгорье

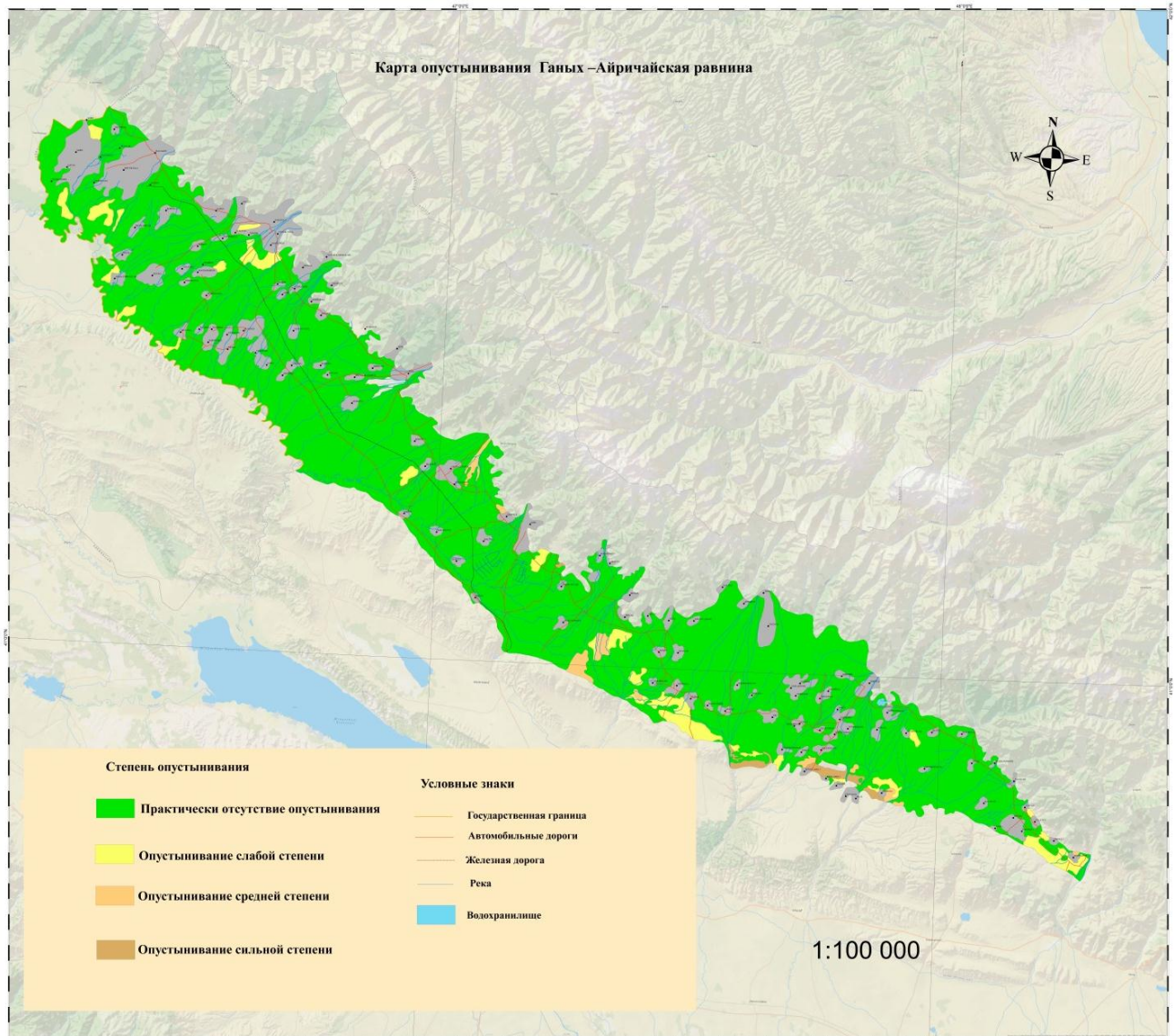


Рис. 5. Карта опустынивания Ганых-Айричайской равнины

Распространение очагов опустынивания по территории зависит в основном от особенностей влияния природных и антропогенных факторов опустынивания и структурно-генетических особенностей. Проведенные анализы и полевые наблюдения (таблица 2) показывают, что их развитие на территории низкогорий и предгорных равнин зависят в основном от природных экзо-динамических процессов в пределах полупустынь, сухих степей, аридных редколесий и кустарников. Такие ландшафты имеют слабую стойкость, низкую урожайность, чувствительность экзогенного воздействия и характеризуются склонностью к опустыниванию. Климатическая обстановка, морфогенетические и морфогенетические особенности, литологический состав пород создают выгодные условия для экзогенных процессов (овражные, балочные, глинисто-карстовые, аридно-денудационные и др.). Антропогенное воздействие (нерациональное использование природных ресурсов) оказывает прямое влияние на интенсивность экзогенных процессов.

Комплексы практически не подверженные опустыниванию. Составляют 740066 га (46,1%) исследуемой территории. Комплексы практически не подверженные опустыниванию, постоянно находятся под наблюдением человека, и охватывают антропогенезированные полупустынные, сухо-степенные селитебные, агроирригационные комплексы и связанные с ними антропогенные модификации. Здесь применение орошения пахотных земель различного назначения (клевер, кукуруза, тыква, овощи и др.), использование минеральных и органических удобрений различного вида с целью повышения урожайности, осуществления мелиоративных работ, служат для повышения продовольствия агроландшафтов.

Ландшафты тугайных лесов побережий крупных рек, равнинные лугово-лесные, равнинные лесные, лесокустарниковые, лугово-кустарниковые и кустарники, отличающиеся способностью восстановления, входят в ряд комплексов практически не подверженных опустыниванию. Но, подверженность этих ландшафтов к нерегулярному, отрицательному влиянию людей, (вы-

пас, уничтожение деревьев и кустарников), увеличивают риск опустынивания.

Комплексы подверженные слабому опустыниванию. Составляют 183985 га (11,5%) исследуемой территории.

Ландшафты проявления процессов опустынивания в слабой степени развиваются в результате частично отрицательного воздействия природных и антропогенных факторов. В основном охватывают предгорные равнины, полупустыни низкогорных территорий (наклон до 10^0 , коэффициент горизонтального расчленения до 1,5), полупустыни, сухостепи, степи, слаборасчлененные редколесья, кустарники и подверженные нерегулярным нагрузкам зимние пастбища, богарные земли. Несмотря на то, сто ландшафты входящие к этой категории обладают локальным характером по отдельным физико-географическим регионам, нерегулярное антропогенное влияние, увеличение антропогенной нагрузки, создают потенциал развития эрозионно-денудационных процессов и степени опустынивания в будущем.

После первого этапа процесса опустынивания ландшафтов подверженных слабому опустыниванию, углубление очагов опустынивания связано с особенностями воздействия природных и антропогенных факторов.

Комплексы подверженные опустыниванию средней степени. Составляют в среднем 258207 га (16,1%) исследуемой территории. Ареалы ландшафтов подверженные средней степени опустынивания охватывают зимние пастбища полупустынь и сухих степей, разрушенные делювиальные шлейфы деревьев и кустарников, подверженные эрозии средней степени, слабо и средне расчлененные горные склоны, аридно-денудационные склоны ($10-15^0$) и долины пересохших рек, расчлененные широкие речные долины.

Развитие очагов опустынивания комплексов средней степени опустынивания связано в основном с влиянием антропогенных факторов. В пределах комплексов относящиеся к этой категории, риск опустынивания обладает высоким потенциалом. Высокая чувствительность комплексов, и слабая стабильность являющаяся залогом развития опустынивания, повышает уровень опустынивания в будущем.

Комплексы подверженные сильному опустыниванию. Составляют 422983 га (26,3%) исследуемой территории.

Комплексы подверженные опустыниванию сильной степени охватывают склоны (наклон до 15^0 , коэффициент горизонтального расчленения

до 2,5) подверженные сильному расчленению в результате физического выветривания, аридной денудации, резкого ухудшения экологической обстановки, делювиальные шлейфы, моноклинные горы и возвышенности, склоны засоленные путем делювия, территории вблизи соленых озер, полигоны нефтяных, промышленных и бытовых отходов, зимние пастбища. В пределах комплексов этой категории, распространяясь в основном внутри антропогенных сухо-степных ландшафтов, процессы опустынивания образуются вследствие взаимодействия природных и антропогенных факторов.

Комплексы с сильным опустыниванием характеризуются растительным покровом 75% которого подвержены деградации, бедным видовым составом, и исчезновением урожайности почв. В будущем исчезновение биологического плодородия, может привести к условиям возникновения здесь пустынь.

В зависимости от особенностей освоения ландшафта и степени влияния факторов опустынивания современных ландшафтов исследуемой территории, в пределах одного типа ландшафта наблюдаются степени опустынивания всех категорий.

Выводы. Учитывая проведенные анализы, можно сделать следующие выводы:

1. Практически 46,1% ландшафтных комплексов исследуемой территории не подвержены опустыниванию. Комплексы подверженные опустыниванию различной степени, составляют 53,9% от общей территории. Среди них 11,5% были подвержены опустыниванию слабой степени, 16,1% средней степени, 26,3% опустыниванию сильной степени.

2. В пределах исследуемой территории географическое распространение очагов опустынивания зависят в основном от особенностей влияния природных и антропогенных факторов опустынивания, и структурно-генетических особенностей ландшафтов.

3. Развитие опустынивания региона в пределах низкогорий и предгорных наклонных равнин в основном в полупустынях, сухих-степях, аридных редколесий и кустарников, связано с активной деятельностью экзодинамических процессов.

4. В зависимости от особенностей освоения ландшафта и степени влияния факторов опустынивания современных ландшафтов исследуемой территории, в пределах одного типа ландшафта наблюдаются степени опустынивания всех категорий.

Литература

1. Алиев, Б. Г. Проблема опустынивания в Азербайджане и пути ее решения [Текст] / Б. Г. Алиев –Б. : Зия-Нурлань, 2005. – 668 с.

2. Аскерова, Г. Г. Исследование фитогеографических особенностей опустынивания ландшафтов (на примере северо-восточного склона Малого Кавказа и Джейранчельского низкогорья) [Текст] / Г. Г. Аскерова. – Б. : Элм, 2012. – 184 с.
3. Бабаев, А. Г. Опустынивание можно предупредить и остановить [Текст] / А. Г. Бабаев // Проблемы Освоения Пустынь. – 1991. – №1. – С. 3–8.
4. Бабаев, А. Г. Пустыни [Текст] / А. Г. Бабаев, И. С. Зонн, Н. Н. Дроздов, З.Г. Фрейкин. – М. : Мысль, 1986. – 318 с.
5. Бельгибаев, М. Е. Реакция Пастбищных экосистем на опустынивание [Текст] / М.Е. Бельгибаев, А.К. Алимбаев, В. Е. Минят, Т. А. Смагулов // Проблем Освоения Пустынь. – 1997. – №5. – С. 3–10.
6. Будагов, Б. А. Антропогенные очаги опустынивания в аридных геосистемах Азербайджана [Текст] / Б. А. Будагов, Я. А. Гарибов, С. Ю. Кулиева // Проблем Освоения Пустынь. – 1997. – №3. – С. 22–28.
7. Будагов, Б. А. Динамика процессов опустынивания в восточной части Азербайджанской Республики [Текст] / Б. А. Будагов, Р. М. Мамедов, Х. Р. Исмамова, А. А. Микаилов // Известия НАНА. Серия наук о земле. – 2002. – №2. – С. 7–16.
8. Гарибов, Я. А. Опустынивание современных ландшафтов Кура–Аразской низменности [Текст] / Я.А. Гарибов, М. И. Юнусов, М. Д. Исмаилов Е. Ш. Мамедбейов. – Б. : Инст. Географ, 1995. – 100 с.
9. Золотокрылин, А. Н. Климат и опустынивание засушливых земель России [Текст] / А.Н. Золотокрылин // Известия РАН. Серия Географическая. – 2008. – №2. – С. 27–35.
10. Золотокрылин, А. Н. Климатическое опустынивание [Текст] / А.Н. Золотокрылин – М. : Наука, 2003. – 246 с.
11. Зонн, И. С. Война в зоне Персидского залива и проблема опустынивания [Текст] / И.С. Зонн // Проблемы Освоения Пустынь – 1991. – №3–4. – С. 133–144.
12. Зонн, И. С. Опустынивание: стратегия борьбы [Текст] / И.С. Зонн, И.С. Орловский. –А.: Ылым, 1984. –320с.
13. Ковда, В. А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв [Текст] / В.А. Ковда. – М. : Колос, 1984. – 304 с.
14. Кулиева, С. Ю. Особенности опустынивания аридных геокомплексов Нахичеванской АР и меры борьбы с ними [Текст] : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.01. / С.Ю. Кулиева; [Ин-т Географии НАНА]. – Б., 1992. – 24 с.
15. Мусеибов, М. А. Ландшафты Азербайджанской республики [Текст] / М.А. Мусеибов. – Б. : Издательство Бакинського Университета, 2003. – 137 с.
16. Олссон, О. Л. Глобальное опустынивание: Не является ли само человечество причиной образования пустынь [Текст] / О. Л. Олссон // Проблемы Освоения Пустынь. – 2005. – №4. – С. 54–55.
17. Орловский, Н. С. Климат и опустынивание [Текст] / Н. С. Орловский, Н. Г. Харин // Проблемы Освоения Пустынь. – 1978. – №3. – С. 33–44.
18. Петров, М. П. Процессы опустынивания в аридных областях Азии и их предотвращение [Текст] / М. П. Петров // Проблемы Освоения Пустынь. – 1978. – №3. – С. 82–90.
19. Розанов, Б. Г. Аридизация суши и антропогенное опустынивания [Текст] / Б. Г. Розанов // Почвоведение. – 1984. – №12. – С. 34–38.
20. Тольба, М. К. Опустынивание–общечеловеческая проблема [Текст] / М. К. Тольба // Проблем Освоения Пустынью – 1978. – №3. – С. 7–16.
21. Харин, Н. Г. Мониторинг и картографирование процессов опустынивания по материалам Аерокосмических съемок [Текст] / Н. Г. Харин // Проблемы Освоения Пустынь – 1991. – № 3–4. – С. 23–31.

UDC 551.4

Aruz Mikayilov,
PhD Student, Baku State University,
Zahid Khalilov st., 23, Baku, Az 1148, Azerbaijan,
e-mail: mikayilov84@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5714-3174>

DESERTIFICATION OF LANDSCAPES IN LOW MOUNTAINOUS AND PLAIN SLOPING FOOTHILLS OF KUR DEPRESSION

As the result of utilization of modern landscapes for various purpose in low mountainous and plain sloping foothills (39.7%) of Kur depression (4036644 hectares) some desertification factors and desertification holes occurred and the danger of degradation of landscapes has increased. In this regard, there is a great need to explore the current state of desertification in the area.

The main objective of the research is to determine the current state of the desertification process, mapping and defining the landscape areas that are subject to desertification in Kur mountainous lowland.

Route-sectoral, comparison, evaluation, statistical interpretation, satellite image decoding methods and ArcGis software were used during the research. Particularly semi-stratified research methods for the deter-

mination of desertification indicators, desertification types and desertification rates have played a special role.

The following key findings were obtained during the research:

- Based on ArcGIS statistical analysis of databases of large scale electronic desalination maps that we have compiled, the areas of desertification of landscapes for the total area and separated physical-geographical regions have been identified and quantitative indicators have been compared.

- 46.1% of the landscape complex of the study area was not affected by desertification in practice. Deserted complexes at various levels make up 53.9% of the total area.

- Geographical distribution of desertification territories in the area depends on the characteristics of natural and anthropogenic desertification factors and the structural-genetic characteristics of landscapes.

- Development of desertification in the region is largely caused by active natural exodynamic processes in semi-desert, dry-steppe, arid-sparse forests and bush.

- In the modern landscape of the study area, sometimes all categories of desertification are observed within a landscape unit.

The scientific achievements of the research.

- ✓ For the first time, the area of deserted landscapes has been identified by indicators of desertification in terrain landscapes and factors that led to the formation and development of desertification habitats.

- ✓ It was determined that 11.5% of landscapes were slightly, 16.1% moderately and 26.3% severely deserted in the study area.

- ✓ NDVI Index based on LANDSAT-8 satellite images (2017) of the area is determined during separation of desertification holes and degradation rates in landscapes.

Practical implications. The results obtained in the research can be used in landscape planning, preparation of meliorative action plans, efficient use of natural resources and implementation of a number of agricultural and environmental projects.

Keywords: Kur depression, landscape, structural-genetic, desertification, desertification rate, grouping, natural, anthropogenic, exodynamic.

References

1. Aliev, B. G. (2005). *The problem of desertification in Azerbaijan and ways to solve it*. Ziya-Nurlan, 668.
2. Askerova, G. G. (2012). *Research of phytogeographical peculiarities of desertification of landscapes (on the example of the northeast slope of the Lesser Caucasus and the Jeyranchel lowlands)*. Science, 184.
3. Babaev, A. G. (1991). *Desertification can be prevented and stopped*. *Problems of Desert Development*, 1, 3-8.
4. Babaev, A. G. (1986). *Deserts*. Moscow, Mysyl, 318.
5. Belgibaev, M. E., Alimbaev, A. K., Minyat, V. E., Smagulov, T. A. (1997). *Reaction of Pasture Ecosystems to Desertification*. *Problems of Desert Development*, 5, 3-10.
6. Budagov, B. A. Garibov, Ya. A., Kulieva, S. Yu. (1997). *Anthropogenic foci of desertification in arid geosystems of Azerbaijan*. *Problems of Desert Development*, 3, 22-28.
7. Budagov, B. A. Mamedov, R. M., Ismatova, X. R., Mikailov, A. A. (2002). *Dynamics of Desertification Processes in the Eastern Part of the Republic of Azerbaijan*. *Proceedings ANAS*, 2, 7-16.
8. Garibov, Ya. A., Yunusov, M. I., Ismailov, M. D., Mamedbejov, E. Sh. (1995). *Desertification of the modern landscape of the Kura-Araks lowland*. *Institute of Geography*, 100.
9. Zolotokrylin, A. N. (2008). *Climate and Desertification of the Dry Lands of Russia*. *Proceedings Russian Academy of Science*, 2, 27-35.
10. Zolotokrylin, A. N. (2003). *Climate Desertification*. Science, 246.
11. Zonn, I. S. (1991). *War in the Persian Gulf zone and the problem of desertification*. *Problems of Desert Development*, 3-4, 133-144.
12. Zonn, I. S., Orlovskij, I. S. (1984). *Desertification: strategy of struggle*. Ylym, 320.
13. Kovda, V. A. (1984). *Problems of combating desertification and salinization of irrigated soils*. Kolos, 304.
14. Kulieva, S. Yu. (1992). *Features of desertification of arid geocomplexes of the Nakhichevan Autonomous Republic and measures to combat them*. *Azerbaijan National Academy of Institute of Geography*. Baku, 24.
15. Museibov, M. A. (2003). *Landscape of the Azerbaijan Republic*. Baku University Publishing House, 137.
16. Olsson, O. L. (2005). *Global Desertification: Is Humanity itself the Cause of Desert Formation*. *Problems of Desert Development*, 4, 54-55.
17. Orlovskij, N. S., Xarin, N. G. (1978). *Climate and Desertification*. *Problems of Desert Development*, 3, 33-44.
18. Petrov, M. P. (1978). *Desertification processes in arid regions of Asia and their prevention*. *Problems of Desert Development*, 3, 82-90.
19. Rozanov, B. G. (1984). *Aridization of land and anthropogenic desertification*. *Pochvovedenie*, 12, 34-38.
20. Tolba, M. K. (1978). *Desertification is a common human problem*. *Problems of Desert Development*, 3, 7-16.
21. Xarin, N. G. (1991). *Monitoring and mapping of desertification processes based on materials of Aerosmic imagery*. *Problems of Desert Development*, 3-4, 23-31.

Lyudmyla Mykolaivna Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,

Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,

V. N. Karazin Kharkiv National University,

Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: soc-econom-region@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Olga Sergiivna Suptelo,

PhD student, Department of Human Geography and Regional Studies,

V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: suptelo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2901-8565>;

Sergii Oleksandrovich Zavetnyi,

Doctor of Science (Philosophy), Professor,

Department of theoretical and practical philosophy, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: kntusgunesco96@gmail.com,

Volodymir Ivanovich Redin,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,

e-mail: v.redin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1580-7662>;

Anatoliy Mikhailovich Baynazarov,

PhD (Geography), Associate Professor,

Department of Physical Geography and Cartography, V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: bynazarov@ukr.net

DYNAMICS OF THE POPULATION NUMBER IN GLOBAL CITIES OF THE EAST EUROPEAN REGION*

Л.М. Немець, О.С. Суптело, С.О. Заветний, В.І. Редін, А.М. Байназаров. ДИНАМІКА ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ ГЛОБАЛЬНИХ МІСТ СХІДНО-ЄВРОПЕЙСЬКОГО РЕГІОНУ. В статті здійснено аналіз показників динаміки чисельності населення глобальних міст Східно-Європейського регіону та їх частки в населенні відповідних країн за період 2000-2018 роки. Обґрунтовано важливість проведення досліджень демографічних особливостей розвитку глобальних міст, зокрема в регіональному розрізі, адже глобальні міста є наразі провідними центрами економічного, фінансового, політичного, культурного, соціального, культурного розвитку.

Виявлені особливості та основні тенденції динаміки чисельності населення та частки населення в відповідних країнах досліджуваних глобальних міст Східно-Європейського регіону за період 2000-2018 роки. Здійснено групування глобальних міст регіону за період дослідження за показниками динаміки чисельності населення з 2000 по 2018 роки, частки населення досліджуваних міст в населенні відповідних країн. Проведено кластерний аналіз глобальних міст регіону за вище переліченими показниками, за результатом якого виділено групи міст для яких зі збереженням існуючих темпів демографічного розвитку характерним буде: збереження статусу глобальних – Москва, Санкт-Петербург, Київ; втрата статусу глобальних міст – Будапешт, Прага, Софія, Вроцлав; міста для яких необхідно впровадження заходів для збереження статусу глобальних – Мінськ, Бухарест, Варшава.

Ключові слова: глобальні міста, Східно-європейський регіон, частка населення міста в населенні країни, рівень урбанізації, ріст (скорочення) населення.

Л.М. Немець, О.С. Суптело, С.А. Заветный, В.И. Редин, А.М. Байназаров. ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ГОРОДОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО РЕГИОНА. В статье проведен анализ показателей динамики численности населения глобальных городов Восточно-Европейского региона и их доли в населении соответствующих стран за период 2000-2018 годы. Обосновано важность проведения исследований демографических особенностей развития глобальных городов, в частности в региональном разрезе, ведь глобальные города являются сейчас ведущими центрами экономического, финансового, политического, культурного, социального, культурного развития.

Вявлены особенности и основные тенденции динамики численности населения и доли населения в соответствующих странах изучаемых глобальных городов Восточно-Европейского региона за период 2000-2018 годы. Осуществлено группировки глобальных городов региона за период исследования по показателям динамики численности населения с 2000 по 2018 годы, доли населения исследуемых городов в населении соответствующих стран. Проведен кластерный анализ глобальных городов региона по выше перечисленным показателям, по результатам которого выделено группы городов для которых с сохранением существующих темпов демографического развития характерным будет: сохранение статуса глобальных – Москва, Санкт-Петербург, Киев; потеря статуса глобальных городов – Будапешт, Прага, София, Вроцлав; города для которых необходимо внедрение мероприятий для сохранения статуса глобальных – Минск, Бухарест, Варшава.

Ключевые слова: глобальные города, Восточно-европейский регион, доля населения города в населении страны, уровень урбанизации, рост (сокращение) населения.

Formulation of the problem. The growth of cities and their population number determines the urgent need to study urban demographic processes. According to the UN [12], in 2007, urban population of the world exceeded rural population and was

54%, respectively, while this figure continues to grow. In most countries of the world where there are global cities, they are the most developed cities of the country, in the vast majority of them – these are the capital cities. These features are typical for the

countries of the studied region – East Europe, of the 11 global cities in the region, 9 are capitals.

There is currently no comprehensive analysis of the demographic processes of global cities. Most studies of global cities are limited to building their hierarchical classification and studying global networks. Therefore, an increase in the proportion of urban population, in particular the population of global cities, which are currently the leading centers of economic, financial, political, cultural and social development, makes the study of the demographic processes of these territories more urgent.

Analysis of previous research. The overwhelming majority of studies and their corresponding publications devoted to global cities on the basis of them, have a theoretical component and are the basis for the formation of global cities concept. The concept of "global cities" was first used by O. Spengler in 1918 [6]. According to O. Spengler, this term meant a large-scale resettlement formed when several smaller populations of agglomerations united.

S. Sassen gave the most common definition of the "global city" in his work "Global City: New York, London, Tokyo" [3]. In his publications, S. Sassin emphasizes mainly the economic and financial role of the global city in the country and the world, stressing the importance of the tertiary sector of the economy in these cities [14].

Since the mid 1990s, the study of global cities has also been conducted by P. Taylor [15] and the group Globalization and World Cities (GaWC) [19]. In the study of global cities, these authors even use a large list of criteria but they focus on corporate and other financial services provided in global cities, as well as on employment in the services and urban residents' life quality [15, 16].

V. Glazychev [1] in the book "Urbanistics" (2008) draws attention to the role of global cities in transforming the national economy and its inextricable link with the global economy. The work of I. Voronin "Formation of Global Cities as the Result of the Influence of the Processes of Globalization and Informatization on the Resettlement System" [7] is another study of global cities in terms of the economic approach in which the author has focused his attention on the functions performed by global cities and their effects on economic sphere.

M. Sluck and O. Matveev also emphasize the vital role of global cities in the development of the country and their fundamental potential and resources in a number of publications [2, 5]. O. Matveev considers global cities as the main factors of changing socio-cultural space [4]. Instead, M. Sluck in the book "Geodemographic phenomena of global cities" provides an exhaustive analytical description of global cities of the world but does not consider them in a regional context [2].

Problems of further research. Despite a large number of publications, most authors emphasize the importance of the economic development component of world cities in their research. The demographic situation is regarded only as one of the factors in the development of global cities. It is this fact that determines the relevance of the demographic situation of global cities study, especially in the regional context.

The purpose of this study is to analyze the dynamics of the population of the global cities in the Eastern European region. To achieve the goal, the following **tasks** were set: to analyze the population dynamics of the global cities in the Eastern European region; to identify the impact of global cities on the development of the countries concerned by analyzing the share of population in the countries; to group the global cities of the region under study in terms of the population dynamics and the share in the population of the respective countries. The **object** of research is global cities, the **subject** – the peculiarities of the population dynamics of the global cities in the East European region.

Research methods. The study of the population dynamics of the global cities in the East European region involves the use of a system of methods that allows assessing demographic processes in them and determines their impact on the development of the countries concerned. In this study, general and special-scientific methods were used. In particular, as a result of the custody of the anzilla, a grouping of the global cities of the East European region was carried out based on the dynamics of the population and their share in the population of the countries concerned during the period of investigation.

Presentation of the main research material. The current political and economic situation in Europe and the fact that more than 30% of the population lives in this macro-region – increases interest in studying the countries of the Eastern European region and, in particular, the cities. According to the classification of the United Nations macroregions, the following countries are included in the Eastern European region: Belarus, Bulgaria, Moldova, Poland, Moldova, Russia, Romania, Slovakia, Hungary, Ukraine, the Czech Republic. These countries are buffer between the developed countries of Europe and the Asian countries. They have a similar history of formation, and the population peculiarities have a number of similar features.

In 2016 in the investigated region "Globalization and World Cities" (GaWC) identified 11 global [25] cities. A macroregion in each country, except for Moldova, is a global city, among these global cities all except St. Petersburg and Wroclaw are metropolitan cities.

Each of the studied countries of the region has a high level of urbanization – more than 53.2% (Slo-

vakia) (Fig. 1). This indicator is quite arbitrary, because in each individual country, the status of the city has settlements with different characteristics. The most common criterion for the city allocation, besides the type of employment, is the population of the settlement. In this region, this indicator ranges from 1.000 to 12.000, although in fact, in each country in the region, there are cities with population below the statutory minimum for obtaining such status.

Conditional levels of urbanization can be divided into:

- low level of urbanization – less than 20%;
- average urbanization rate – from 20% to 50%;
- high level of urbanization – from 50% to 72%;
- very high level of urbanization – more than 72%.

Therefore, all countries in the region under study have high (Slovakia, Romania, Poland, Ukraine) and very high (Hungary, Czech Republic, Russia, Bulgaria, Belarus) level of urbanization.

Of the 11 studied cities, as of January 1, 2018,

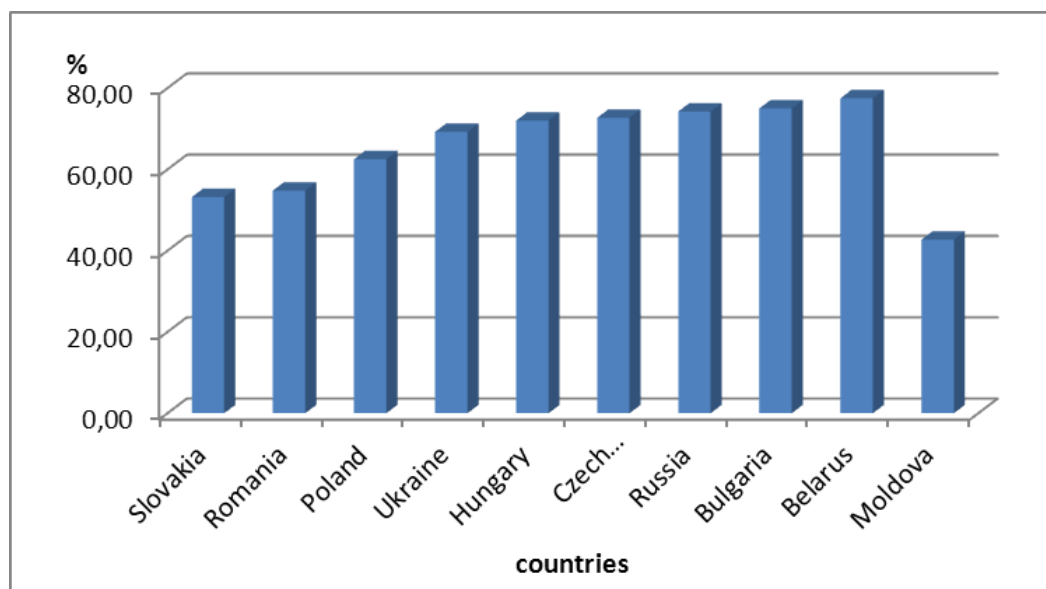


Fig. 1. Urbanization level in East European region as of 01.01.2018, (built by the author according to [8-13; 17-18; 20-24])

the largest population index was recorded in the city of Moscow (Russia) – more than 12506 thousand people, respectively, the least – 416.5 thousand people in Bratislava (Slovakia).

In general, the global cities of the East European region by population as of 01.01.2018 can be divided into three groups (Fig. 2):

- cities with a population of up to 1 million people – Bratislava (Slovakia), Wroclaw (Poland);
- cities with a population of 1 million to 5 million people – Sofia (Bulgaria), Prague (Czech Republic), Budapest (Hungary), Warsaw (Poland), Minsk (Belarus), Bucharest (Romania), Kiev (Ukraine);
- cities with a population of more than 5 million people – St. Petersburg (Russia), Moscow (Russia).

For three cities under study Bratislava, Budapest, Wroclaw the dynamics of the population declines, as opposed to the rest of the studied global cities. During the study, the population of the city of Bratislava dropped by 20.88 thousand, which is - 4.67%, respectively. This situation is caused by a number of factors, in particular the country's traditional natural growth rates, the proximity of the city to the state border with Austria and the city of Vien-

na (the distance between the capitals is about 55 km). The accession of the country to the EU in 2004 is important as it has become the main stimulant of population migration and has affected the population decline, mainly due to migration (Fig. 1, 2).

A similar situation is typical for the city of Budapest; during the study period the city population declined by more than 38 thousand people, which corresponds to -2.16%, respectively (Fig. 2). After the accession of Hungary to the EU in 2004, the city's population increased by about 4%, although it did not equal the level of the beginning of the studied period.

Trends in population decline are also recorded for the city of Wroclaw. During the research period, the population declined by 9.42 thousand people, or -1.47%, respectively (Fig. 3). This situation is due in part to the above-mentioned fact of the country's accession to the EU, as well as the situation of the city of Wroclaw in the country. Since Wroclaw is located in the Lower Silesian province of Poland bordering Germany and the Czech Republic, after the country's accession to the EU, a large number of the province's population migrated to these countries, which generally has led to a reduction in the population of the city of Wroclaw.

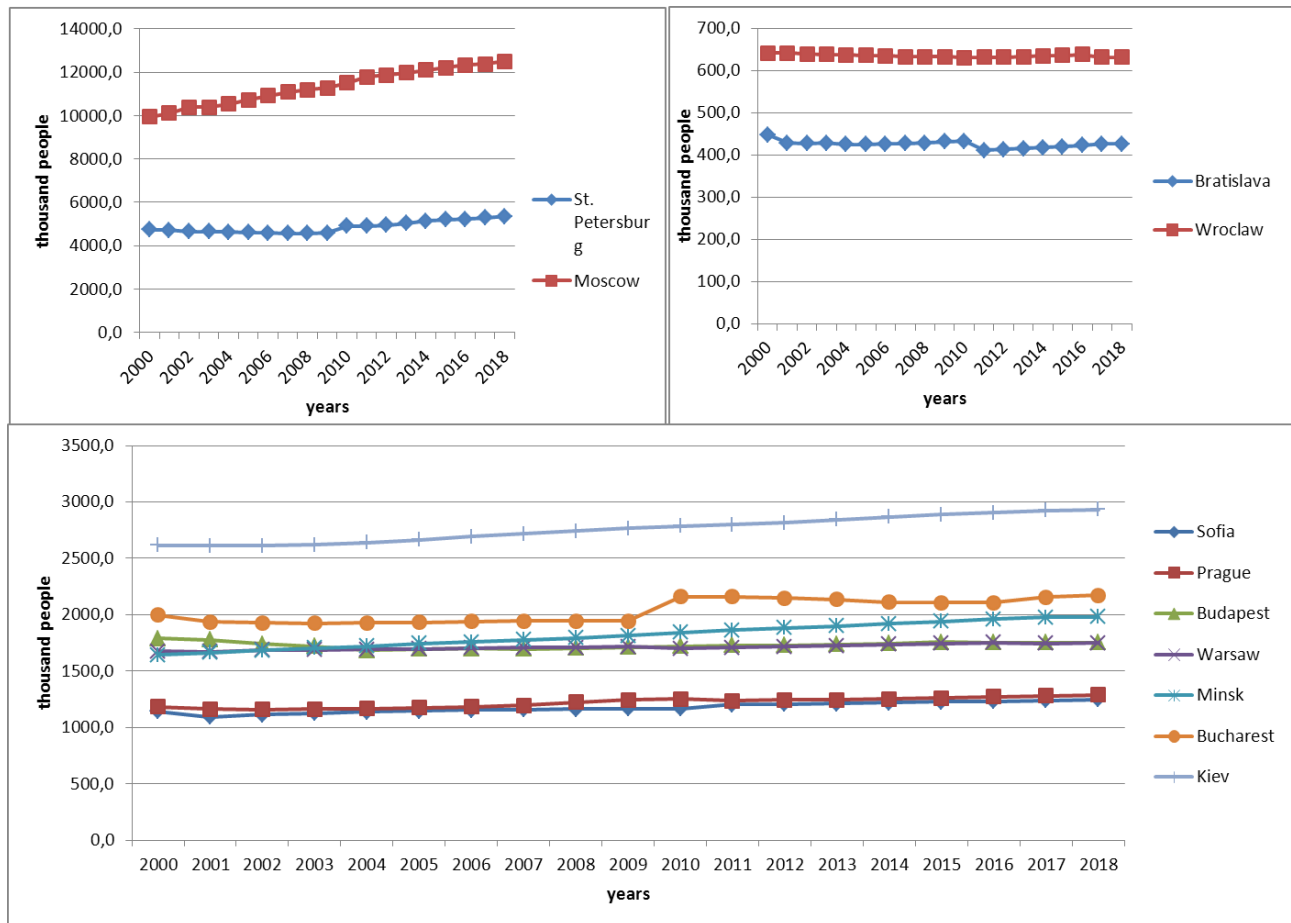


Fig. 2. Dynamics of the global population for the content of Eastern European region for the period 2000-2018 (built by the author according to [8-10; 13; 17-18; 20-24])

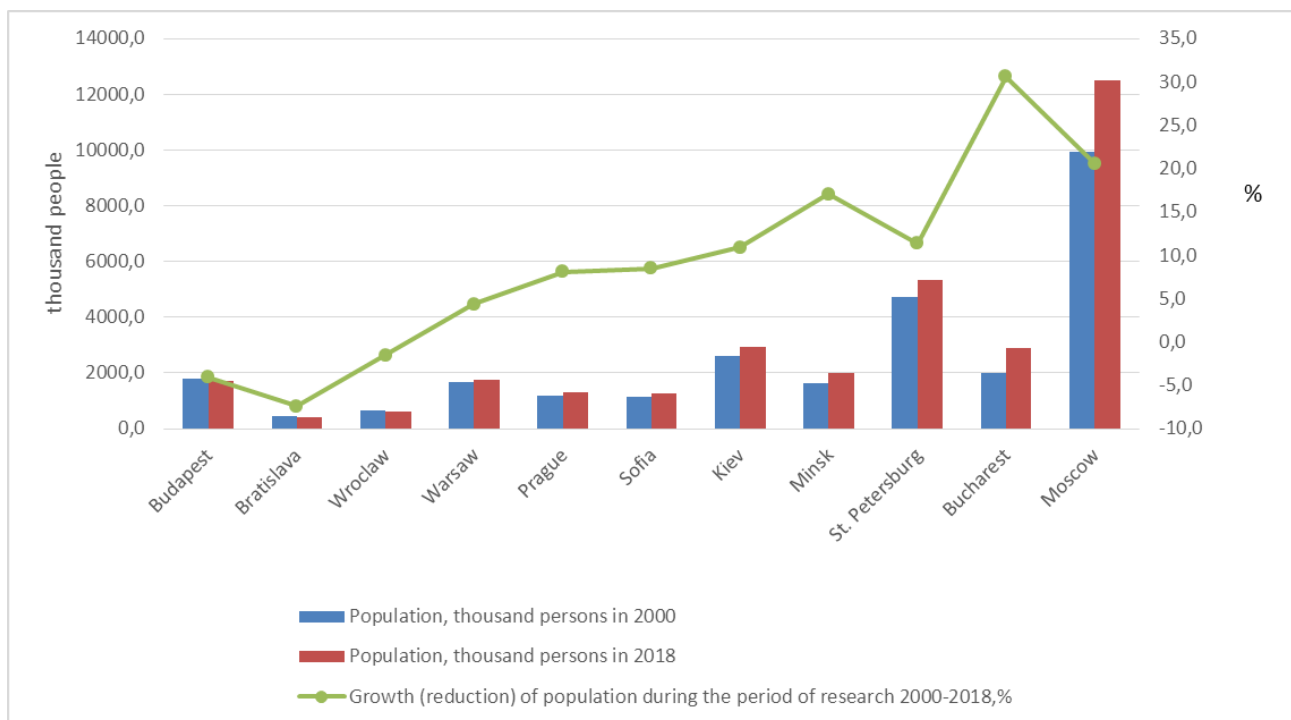


Fig. 3. Growth (reduction) of global cities' population in Eastern European region for the period 2000-2018 (constructed by the author according to [8-10; 13; 17-18; 20-24])

The rest of the studied cities characterized by a gradual increase in population over the period 2000-2018 years, e.g. the cities of the former USSR,

namely: Moscow – 25.91%, Minsk – 20.55%, St. Petersburg – 12.86%, Kiev – 12.21%. An increase in the population during the study period was over

10%, which is the reason for the change in socio-economic and political situation in the countries. These cities "drag out" a fairly significant proportion of the population of the countries concerned, as the most socio-economically migratory attractiveness for the population.

The population of such cities as Sofia (9.27%), Bucharest (8.83%), Prague (8.78%), Warsaw (4.56%) during the study period increased to less than 10%, respectively. This situation is due to factors such as the geographical location and the status of these cities, the proximity of these countries to the developed countries of the EU and less developed countries of Europe.

Each of the studied global cities is the largest city in the country for the population or the second in the ranking (St. Petersburg, Wroclaw). At the same time, the proportion of the population of these

cities in the population is in the range from 1.65% (Wroclaw) to 20.87% (Minsk). Therefore, by the percentage of the global city's population in the country's population, the global cities of the East European region can be divided into 4 groups (Fig. 4):

1. Cities with a share of the population in the country more than 20%: Minsk – 20.89%;
2. Cities with a share of the population in the country from 20% to 10%: Sophia – 14.45%, Budapest – 17.57%, Prague – 12.29%, Bucharest – 14.67%;
3. Cities with a share of population in the country from 10% to 5%: Moscow – 8.51%, Bratislava – 7.65%, Kiev – 6.92%;
4. Cities with a share of the population in the country less than 5%: Warsaw – 4.55%, St. Petersburg – 3.64%, Wroclaw – 1.64%.

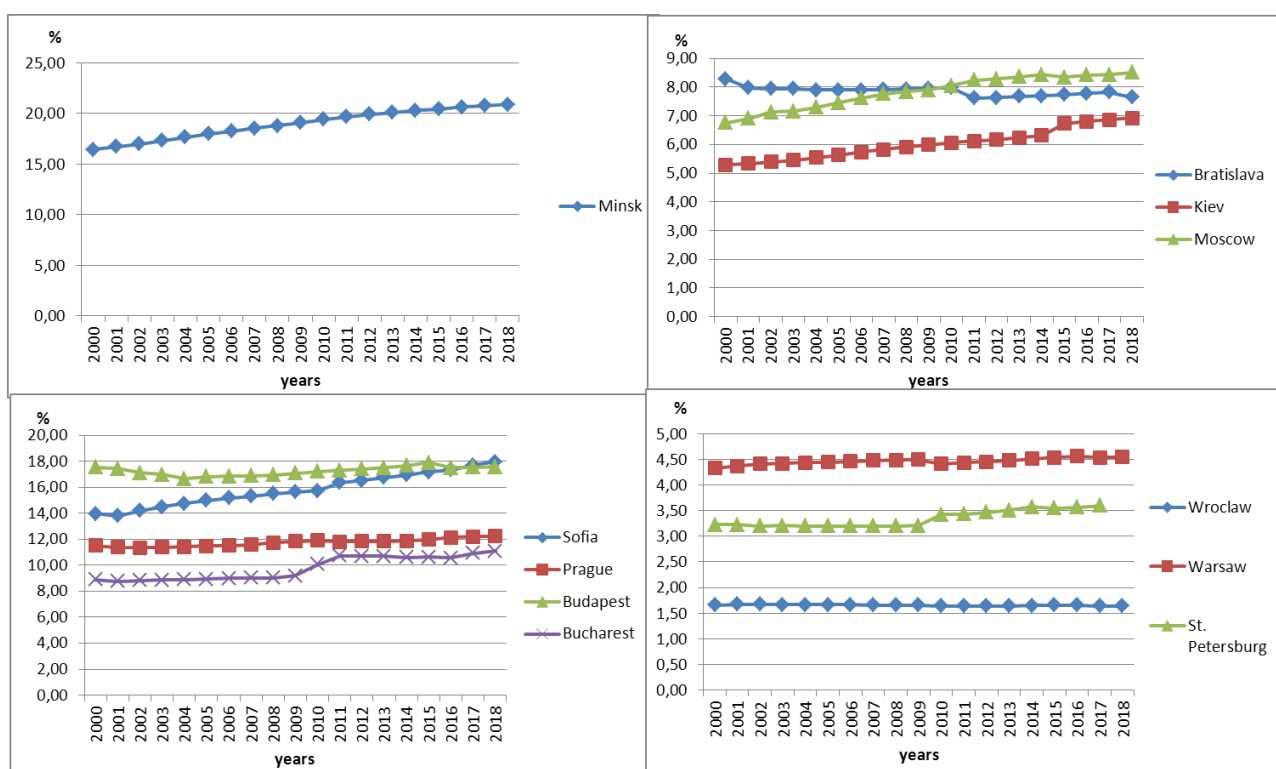


Fig. 4. Dynamics of the population share of the global cities in the East European region in the population of the countries concerned, for the period 2000-2018 (constructed by the author according to [8-10; 13; 17-18; 20-24])

Analyzing this distribution of cities by groups, one can conclude that Minsk is the main pole of growth in the country, pulling over 20% of the population of the country, although the urbanization rate of Belarus is more than 77%. The cities of the second (Sofia, Prague, Budapest, Bucharest) and the third (Moscow, Bratislava, Kiev) groups are metropolitan cities with significant political, economic and demographic potential. At the same time, cities of the second group with a slightly larger share of the population in the country (17.57-12.29%) are cities of mountainous countries with a rather small area.

The cities of the third group are the largest cities in the region of the studied region and their share in the population of the country in the range of 8.51-6.92%. The last group includes non-metropolitan cities (St. Petersburg, Wroclaw) and the metropolitan city of Warsaw. These are cities that do not make significant demographic changes in the country, firstly, because of their non-capital situation (St. Petersburg, Wroclaw), and secondly, their location has a high level of urbanization and a large area.

For the cities of Bratislava and Wroclaw, a decrease in the share of the population in the country is

typical for the period of the survey. For Bratislava, this is explained by the general decrease in the population of the city from 2000 to 2018 and the increase in the population of the country as a whole (from 5401 thousand in 2000 to 5447 thousand in 2018). The city of Wroclaw is also characterized by a tendency to reduction in its population (from 2000 to 2018, the city population declined by more than 9 thousand people), but a decrease in the share of the population can be explained also by an increase in the population of the capital of Poland – Warsaw – by 76.39 thousand persons during the study period.

For the rest of the global cities of the Eastern European region, the share of population in the population of the countries concerned has been recorded

(Fig. 4), which in fact confirms their status as global cities.

The results of the study will allow to carry out the cluster analysis for 11 global cities in the Eastern European region and to group cities according to population dynamics and the population of the studied cities in the population of the countries concerned.

Although the countries of the region under study in the UN classification have many common features, global cities, even in terms of dynamics of the population and their share in the population, are quite different. Therefore, the global cities of the Eastern European region can be divided into 4 clusters with corset analysis (Fig. 5):

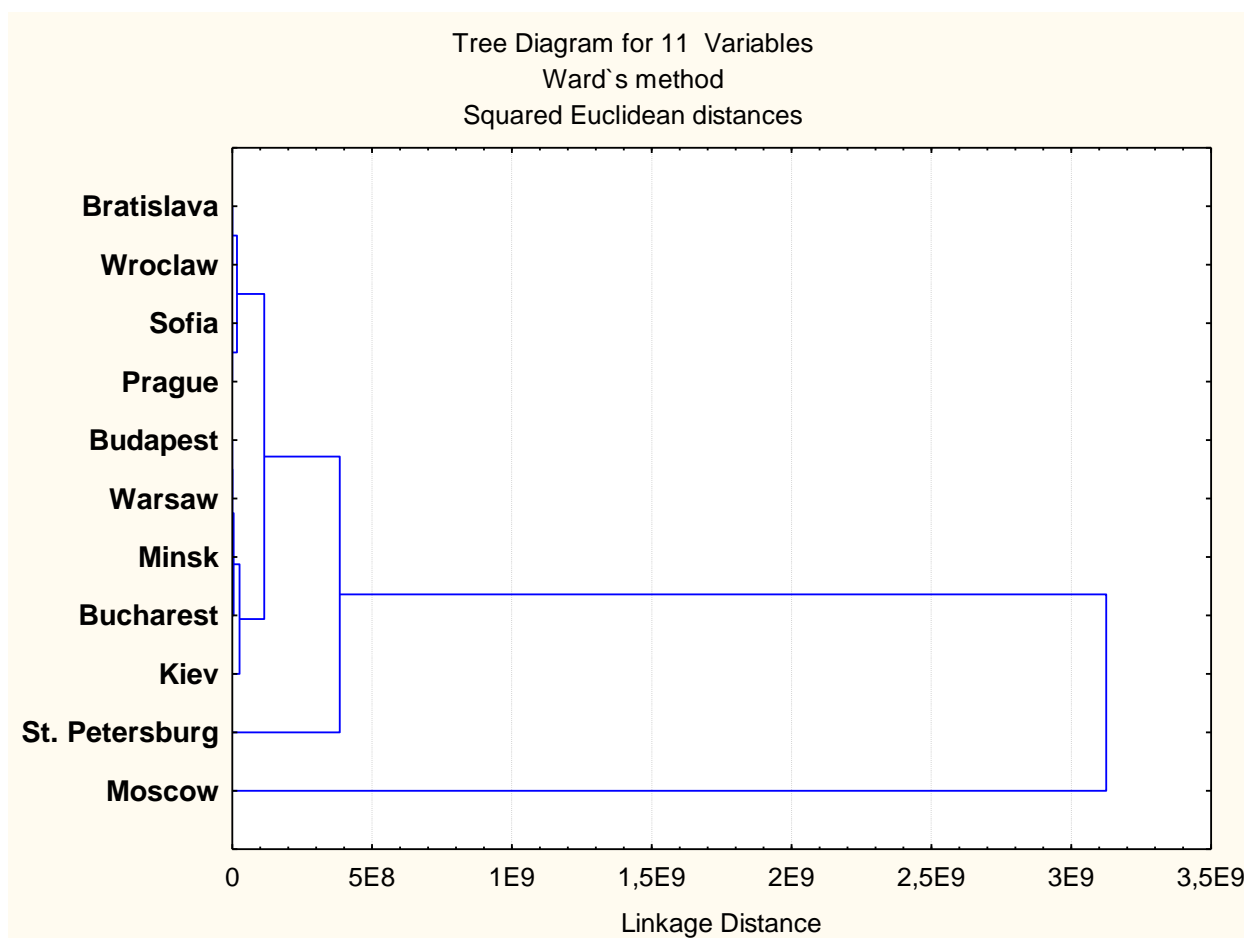


Fig. 5. Grouping of the cities of the East European region according to the dynamics of the population and their time in the population of the countries concerned for the period 2000-2018 (constructed by the author according to [11-16; 21-22; 24-25])

- I. Moscow – the city with the largest population among the studied population, with a constant positive dynamics of increase and share in the population of the country more than 8.5%, which is also constantly increasing;
- II. St. Petersburg, Kiev – cities with a population of more than 2 million people, positive dynamics to increase population and share in the country 3.64% and 6.92%, respectively. These cities have a small share in the population of the countries concerned due to the considerable development of the rest of the major cities of the countries concerned.
- III. Minsk, Bucharest, Warsaw – this cluster includes cities with populations ranging from 1.5 million to 2.2 million people with a positive dynamics up to an increase in the population in the country at 20.55%, 11.1% and 4.55% respectively, which increases this indicator throughout the study period;

IV. the cities of Budapest, Prague, Sofia, Wroclaw, and Bratislava are characterized by a population ranging from 440 thousand to 1.2 million, which is the smallest indicator among the global cities of the region. The cities of Sofia and Prague are characterized by an increase in the population and its share in the population of the country, and for the remaining cities, the figures are constantly decreasing over the study period.

Thus, the cities of the first and second clusters are global cities with significant demographic potential, while the pace of development for the cities under study will be characterized by further growth in the status of global. Instead, the cities of the third cluster are cities that will take measures to improve the demographic situation in order to preserve the status of global cities. For the cities of the fourth cluster, with preservation of the existing pace of demographic development their loss of the status of global cities is possible.

Conclusion. Consequently, in the global cities of the studied region, there is a fairly large proportion of the population of the country concerned. The peculiarities of the population and its dynamics in global cities greatly affect the population of the

country and the region as a whole. So, one of the most important demographic indicators is the dynamics of population, so this issue requires a comprehensive study.

The conducted research on the dynamics of population size and the share of the population of the global cities of the East European region in the respective countries allowed to group the studied cities according to the indicators (Fig. 4). Analyzing the dynamics of the population, one can conclude that most of the global cities of the region are attractive for the population, which is reflected in the increase in this indicator for the period of research. Analyzing the proportion of urban population in the total population of the countries concerned, it can be argued that with the preservation of existing trends in the development of such cities as Bratislava, Wroclaw and Budapest, their global status loss is possible.

Consequently, the dynamics of the population is an important factor in the development of global cities and regions in general and directly affects their status and demographic characteristics of the rest of the territory.

Література

1. Глазычев, В. Урбанистика / В. Глазычев // Европа. – Москва. – 2008. – 220 с.
2. Матвеева, О.Ю. Глобальные города – города, меняющие социально-культурное пространство / О. Ю. Матвеева // Вестник науки Сибири. – 2015. – № 1 (16). – С. 93–97.
3. Сассен, С. Глобальный город: Нью-Йорк, Лондон, Токио // С. Сассен // Princeton University Press. – 1991. – 410 с.
4. Слука, Н.А. Геодемографические феномены глобальных городов / Н.А. Слука // Ойкумена. – Смоленск. – 2009. – 317 с.
5. Слука, Н. А. Эволюция концепции «мировых городов» / Н. А. Слука // Региональные исследования. – 2005. – № 1. – С. 11–29.
6. Шпенглер, О. Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории. Т. 2. Всемирно-исторические перспективы: пер. с нем. и примеч. / И.И. Маханькова. – М.: Мысль, 1998. – 606 с.
7. Воронін, І. М. Формування глобальних міст як результат впливу процесів глобалізації й інформатизації на систему розселення [Електронний ресурс] / І. М. Воронін // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия : География. – 2009. – Т. 22 (61). – № 2. – С. 167–172. – Режим доступа : http://sn-geography.crimea.edu/arhiv/2009/uch_22_2g/020_voron.pdf
8. Головне управління статистики у м. Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kiev.ukrstat.gov.ua/>
9. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
10. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (Белстат) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.belstat.gov.by/>
11. Национальное бюро статистики республики Молдова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.statistica.md/index.php?l=ru>
12. Офіційний сайт ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.un.org/ru/index.html>
13. Федеральная служба государственной статистики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.gks.ru/>
14. Sassen, S. The Global City: Introducing a Concept / S. Sassen // The Brown Journal of World Affairs. – Winter/Spring. – 2005. – Vol. XI. – Issue 2. – P. 27–43.
15. Taylor, P. The New Geography of Global Civil Society: NGOs in the World City Network // GaWC Research Bulletin. – 2004. – № 144.
16. Taylor, P. World City Network: A Global Urban Analysis / P. Taylor. – Routledge. – 2004.
17. Czech Statistical Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.czso.cz/csu/czso/home>
18. Eurostat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat>
19. Globalization and World Cities [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lboro.ac.uk/gawc/courol.html>

20. Główny Urząd Statystyczny [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>
21. Hungarian Central Statistical Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ksh.hu/>
22. National Statistical Institute of Bulgaria [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nsi.bg/en>
23. National Statistical Institute of Romania [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.insse.ro/cms/en>
24. Statistical Office of the Republic of Slovenia [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.stat.si/StatWeb/en/home>
25. The World According to GaWC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.lboro.ac.uk/gawc/gawcworlds.html>

UDC 911.375:314.116(4-11)

Lyudmyla Niemets,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V. N.Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: soc-econom-region@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Olga Suptelo,

PhD student, Department of Human Geography and Regional Studies,
V. N.Karazin Kharkiv National University,
e-mail: suptelo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2901-8565>

Sergii Zavetnyi,

Doctor of Science (Philosophy), Professor,
Department of theoretical and practical philosophy, V. N.Karazin Kharkiv National University,
e- mail: kntusgunesco96@gmail.com,

Volodymir Redin,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
e- mail: v.redin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1580-7662>;

Anatoliy Baynazarov,

PhD (Geography), Associate Professor,
Department of Physical Geography and Cartography, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e- mail: baynazarov@ukr.net

DYNAMICS OF THE POPULATION NUMBER IN GLOBAL CITIES OF THE EAST EUROPEAN REGION

Formulation of the problem. The growth of cities numbers and their population determines the urgent need to study urban demographic processes. According to the UN [2], in 2007, urban population of the world exceeded the rural population and accounted for 54%, respectively, while the figure continues to grow. Most studies of global cities are reduced to building their hierarchical classification and studying global networks. Therefore, an increase in the proportion of urban population, in particular, population of global cities which are currently the leading centers of economic, financial, political, cultural and social development, makes the study of the demographic processes of these territories more urgent.

The purpose of the article. The purpose of this study is to analyze the population dynamics of the global cities in Eastern European region.

Results. The vast majority of studies and their corresponding publications devoted to global cities, in their essence, has a theoretical component and is the basis for the emergence of global cities concept. Despite a large number of publications, most authors emphasize the importance of the economic component in the development of world cities in their research, in relation to the demographic situation, which is considered only as one of the factors in the development of global cities.

Current political and economic situation in Europe and the fact that more than 30% of the population lives in this macro-region makes the formation of an interest in studying the countries of East European region, and, in particular, the cities.

The conducted research on the dynamics of population size and the share of the population of the global cities in East European region in the respective countries allowed us to group the studied cities according to the indicators (Fig. 5). Analyzing population dynamics, it can be concluded that most of the global cities of the region are attractive for the inhabitants, which is expressed in the increase of this indicator for the period

of research. Analyzing the proportion of urban population in the total population of the countries, it can be argued that with the preservation of existing trends in the development of such cities as Bratislava, Wrocław and Budapest, their loss of global status is possible.

Consequently, the dynamics of the number is an important factor in the development of global cities and regions in general, and it directly affects their status and demographic characteristics of the rest of the territory.

Keywords: global cities, East European region, the share of the city's population in the country's population, urbanization level, the growth (reduction) of the population.

References

1. Glasychev, B. (2008). *Urbanism. Moscow, Russia: Europe*, 220.
2. Matveeva, O. Ju. (2015). *Global cities – cities that change the socio-cultural space. Bulletin of Science in Siberia*, 1(16), 93–97.
3. Sassen, S. (1991). *Global city: New York, London, Tokyo* Princeton University Press, 410
4. Sluka, N. A. (2009). *Geodemograficheskiye fenomeny globalnykh gorodov [Geodemographic phenomena of global cities. Smolensk, Russia: Oecumene* 317.
5. Sluka, N. A. (2005). *Evolution of the Concept of World Cities. Regional Studies*, 1, 11–29.
6. Spengler, O. (1998). *The Decline of Europe. Essays on the morphology of world history. Vol.2. World-historical perspectives. In I. I. Makhankova (Eds.). Moscow, Russia: Mysl*, 606.
7. Voronin, I. M. (2009). *Formation of global cities as a result of globalization and informatization processes impact on the resettlement system. Scientific Notes of Taurida National V.I.Vernadsky University. Series: geog-raphy*, 2/22(61), 167–172. Available at: http://sngeography.crimea.edu/arhiv/2009/uch_22_2g/020_voron.pdf
8. *The Main Department of Statistics in Kyiv*. Available at: <http://www.kiev.ukrstat.gov.ua/>
9. *State Statistics Service of Ukraine*. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
10. *National Statistics Committee of the Republic of Belarus (Belstat)*. Available at: <http://www.belstat.gov.by/>
11. *National Bureau of Statistics of the Republic of Moldova*. Available at: <http://www.statistica.md/index.php?l=ru>
12. *United Nations official website*. Available at: <http://www.un.org/ru/index.html>
13. *Federal State Statistics Service*. Available at: <http://www.gks.ru/>
14. Sassen, S. (2005). *The Global City: Introducing a Concept. The Brown Journal of World Affairs*, Winter / Spring, 9(2), 27–43.
15. Taylor, P. *The New Geography of Global Civil Society: NGOs in the World City Network. GaWC Research Bulletin*, 144.
16. Taylor, P. (2004). *World City Network: A Global Urban Analysis. Routledge*, 256
17. *Czech Statistical Office*. Available at: <https://www.czso.cz/csu/czso/home>
18. *Eurostat*. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat>
19. *Globalization and World Cities*. Available at: <http://www.lboro.ac.uk/gawc/couros.html>
20. *Główny Urząd Statystyczny*. Available at: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>
21. *Hungarian Central Statistical Office*. Available at: <http://www.ksh.hu/>
22. *National Statistical Institute of Bulgaria*. Available at: <http://www.nsi.bg/en>
23. *National Statistical Institute of Romania*. Available at: <http://www.insse.ro/cms/en>
24. *Statistical Office of the Republic of Slovenia*. Available at: <http://www.stat.si/StatWeb/en/home>
25. *The World According to GaWC*. Available at: <http://www.lboro.ac.uk/gawc/gawcworlds.html>

Марія Олегівна Сліже,

аспірант, Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

Юссеф Ель Хадрі,

аспірант, Одеський державний екологічний університет,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

РАЙОНИ ФОРМУВАННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОВІТРЯНИХ МАС, ЯКІ НАБУВАЮТЬ ВЛАСТИВОСТІ СУХОВІЮ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Суховій це шкідливе метеорологічне явище, яке завдає негативного впливу на розвиток агропромислового комплексу, знижуючи врожайність сільськогосподарських культур, гнітюче впливає на рослинний покрив і сприяє деградації ґрунтів. Метою дослідження є визначення районів початкового формування суховіїв в Україні в останні десятиліття, та отримання кількісних показників трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей. Були побудовані траєкторії попереднього руху повітряних частинок за період 120 ч (5 діб) біля земної поверхні та на висотах 1500 м і 3000 м для станцій на яких спостерігалось явище суховію. Отримані значення температури, потенційної температури, відносної вологості повітряної частинки та її висоти над поверхнею землі в початковій, кінцевій і проміжних точках траєкторії в термін 10 UTC (13 год за місцевим часом), та розраховані їх трансформаційні зміни. У поверхні землі основну роль у формуванні суховіїв мають синоптичні процеси східного типу. На висотах відзначається переважання західного і північно-західного видів траєкторій. У поверхні землі основний внесок в зростання температури повітряної маси в процесі її трансформації вносить приплив тепла від підстильної поверхні. На висоті причиною збільшення температури повітря служить процес адиабатичного опускання. Висушування повітря відбувається при переміщенні повітряних мас по усім видам траєкторій (виключаючи південно-східний вид) біля поверхні землі і по західному, північно-західному і північному видам на висоті.

Ключові слова: суховій, трансформація, повітряна маса, траєкторії попереднього руху, температура, потенційна температура, вологість, HYSPLIT.

М. О. Сліже, Ю. Ель Хадрі. РАЙОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС, ПРИОБРЕТАЮЩИХ СВОЙСТВА СУХОВЕЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ. *Суховей это вредное метеорологическое явление, которое снижает урожайность сельскохозяйственных культур, оказывает негативное влияние на растительный покров и способствует деградации почв. Целью исследования является определение районов начального формирования суховеев в Украине в последние десятилетия, и получение количественных показателей трансформации воздушных масс, которые приобретают суховейные свойства. Были построены траектории предшествующего движения воздушных частиц за период 120 ч (5 дней) для станций, на которых наблюдалось явление суховей. Получены значения температуры, потенциальной температуры, относительной влажности воздушной частицы и ее высоты над поверхностью земли, в начальной, конечной и промежуточных точках траектории в срок 10 UTC, и рассчитаны их трансформационные изменения. У поверхности земли основную роль в формировании суховеев имели синоптические процессы восточного типа. На высотах отмечалось преобладание западного и северо-западного видов траекторий. У поверхности земли основной вклад в рост температуры воздушной массы в процессе ее трансформации вносил приток тепла от подстилающей поверхности. На высоте причиной увеличения температуры воздуха служил процесс адиабатического опускания. Всушивание воздуха происходило при перемещении воздушных масс по всем видам траекторий (исключая юго-восточный вид) у поверхности земли, и по западному, северо-западному и северному видам на высоте.*

Ключевые слова: суховей, трансформация, воздушная масса, траектории предшествующего движения, температура, потенциальная температура, влажность, HYSPLIT.

Вступ. Суховій це шкідливе метеорологічне явище, яке завдає негативного впливу на розвиток агропромислового комплексу, знижуючи врожайність сільськогосподарських культур, гнітюче впливає на рослинний покрив і сприяє деградації ґрунтів [1-3]. Найбільшої шкоди суховії надають ярим культурам, які у весняно-літній період знаходяться в стадії активного розвитку. Вивчення суховіїв, як і посух, найцікавіше для України, з причини того, що більша частина території країни розташована в зоні їх щорічного розвитку [4-9]. Тому прогноз суховіїв, а так само оцінка передбачуваного збитку, що завдається цим явищем, є актуальним науково-дослідним напрямом в гідрометеорології. Ознакою суховію як шкідливого для рослин явища є випаровування, яке визначається поєднанням значень температури повітря і відносної вологості. Зараз в

Україні, за критерій явища суховію, згідно [5], приймається одночасне поєднання хоча б в один строк спостережень таких значень метеорологічних величин: температура повітря 25 °C і вище, швидкість вітру на висоті флюгера 5 м/с і більше та відносна вологість повітря в будці 30 % і нижче.

Аналіз попередніх досліджень. Результати дослідження суховіїв на території Європейської частини Росії (ЄЧР) і України [9] сходяться до висновку, що придбання повітряною масою суховійних властивостей, пов'язано з процесом трансформації мас повітря, які надходять з районів Атлантики і Арктичних морів, та з процесом опускання повітря в системах високого тиску [7, 8]. Попередні дослідження [9] процесу трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей показали, що в дні з суховієм на

рівні ізобаричних поверхонь 850 і 700 гПа повітряні маси надходили з районів Карського, Баренцевого, Норвезького, Північного морів і районів Атлантики. Далі вони переміщалися над континентом, і якщо траєкторія руху пролягала над районами Середньої Азії і Прикаспію, повітряна маса набувала суховійних властивостей. Характер трансформації повітря, що перемістилося з району Арктики, має деяку відмінність від процесу трансформації атлантичного повітря. Арктичні повітряні маси трансформуються інтенсивніше, підвищення температури в нижньому шарі атмосфери відбувається на 15-18° С, в разі атлантичних мас підвищення відбувається на 10-15° С. Відносна вологість в першому випадку зменшується на 30-40 %, у другому на 50-60 %, що призводить до досягнення досить низьких значень в районах прояву суховію. Процес трансформації повітря протікає в двох напрямках: по-перше, в результаті прогріву (який супроводжується висушуванням) від підстильної поверхні при переміщенні над континентом; по-друге, в результаті вертикального змішування, що приводить до надходження з верхніх рівнів до земної поверхні більш сухого повітря.

Дослідження синоптичних умов виникнення суховіїв в Україні [10], виконано на підставі аналізу побудованих траєкторій частинок повітря на рівнях 850, 700 і 500 гПа. В результаті було виділено кілька районів, з яких надходили повітряні маси. Траєкторії, що беруть початок в Арктичному басейні далі проходять через Прикаспійську низовину або Нижнє Поволжя і закінчуються в Україні були у 44 % північного і у 10 % північно-західного походження. Близько 20 % траєкторій, що потрапляли на територію України, починалися від узбережжя Атлантичного океану і проходили по північній периферії гребеня азорського антициклону. Невелика кількість траєкторій (12 %) починалася на півдні або південному сході, над Середньою Азією або Іраном. У 14 % випадків суховії були пов'язані з малорухомими антициклонами, розташованими над Східною Європою. Близько 90 % суховіїв виникали безпосередньо на території України і прилеглих до неї районах, і тільки у 10 % випадків повітряні маси, були принесені потоками з посушливих районів і надходили до України у суховійному стані. Середній приріст температури повітряної маси у поверхні землі в процесі трансформації при переміщенні над континентом становив близько 15° С, при одночасному зниженні відносної вологості від 80-100 до 20-30 %.

Вивчення процесу трансформації повітряних мас за допомогою побудови траєкторій попереднього руху надає детальну інформацію про вихідні області формування різних метеорологічних параметрів (наприклад, температури, вологості)

та кількісні показники зміни властивостей повітряної маси [11-13]. Траєкторія руху повітряного потоку являє собою набір точок у просторі. Кожна точка визначається координатами положення лагранжевої частки в певний момент часу. Траєкторія попереднього руху відображає шлях повітряної частки в моменти часу, що передують її приходу в задану географічну точку. Залежно від поставленого завдання, в різних точках траєкторії проводиться розрахунок характеристик повітряної частки. Це дозволяє більш точно виділити процеси, що впливають на її перетворення і дає можливість побудови трансформаційних моделей, які використовують для прогнозу температури та вологості повітря, хмарності та інших метеорологічних параметрів.

Метою дослідження є визначення районів початкового формування суховіїв в Україні в останні десятиліття, та отримання кількісних показників трансформації повітряних мас, які набувають суховійних властивостей.

Вихідні дані. В якості вихідних у дослідженні були використані дані щоденних строкових спостережень, які отримані з сайту агентства NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVICE [14], за період 2006-2015 рр. з квітня по серпень, на 24 метеорологічних станціях, які належать до різних агрокліматичних зон України. Для виявлення явищу суховію за вказаним критерієм, були проаналізовані дані по температурі повітря, відносній вологості, швидкості та напрямку вітру за 8 строків щоденних спостережень.

Для більш детального вивчення природи суховіїв, в сучасних умовах, за допомогою сервісу Air Resources Laboratory NOAA [15], були побудовані траєкторії попереднього руху повітряних частинок біля поверхні землі та на висотах 1500м і 3000 м. Для побудови траєкторії були відібрані дні з суховієм, в які дане явище було максимально поширене по території і мало значну тривалість. В результаті були побудовані 810 траєкторій попереднього руху повітряних частинок за період 120 ч (5 діб) для станцій на яких спостерігалось явище суховію.

Для визначення походження повітряних мас, отримані траєкторії були об'єднані у 9 основних видів (рис. 1).

Оцінка трансформації повітряних мас. Під трансформацією повітряних мас в широкому сенсі розуміють індивідуальні зміни її основних характеристик (температури, вологості, стійкості, систем конденсації (хмари, опади, тумани) і т.п.) у поверхні Землі і на різних висотах за який-небудь відрізок часу, обумовлені різними видами притоку тепла і вологи. У процесі трансформації можна виділити періоди, коли міждодові зміни відбуваються швидко або повільно. У перші дні

після надходження в даний географічний район нової повітряної маси міждодовні зміни температури складають 4-5° С, які потім зменшуються до 1-2° С. Тому в якості критерію закінчення трансформації повітряної маси приймають момент, починаючи з якого зміна середньої добової

температури на рівні підстильної поверхні та на рівні 850 гПа складає менше 1-1,5° С. Період трансформації, тобто число днів за яке будуть досягнуті умови рівноваги, становить 5-7 днів [16].

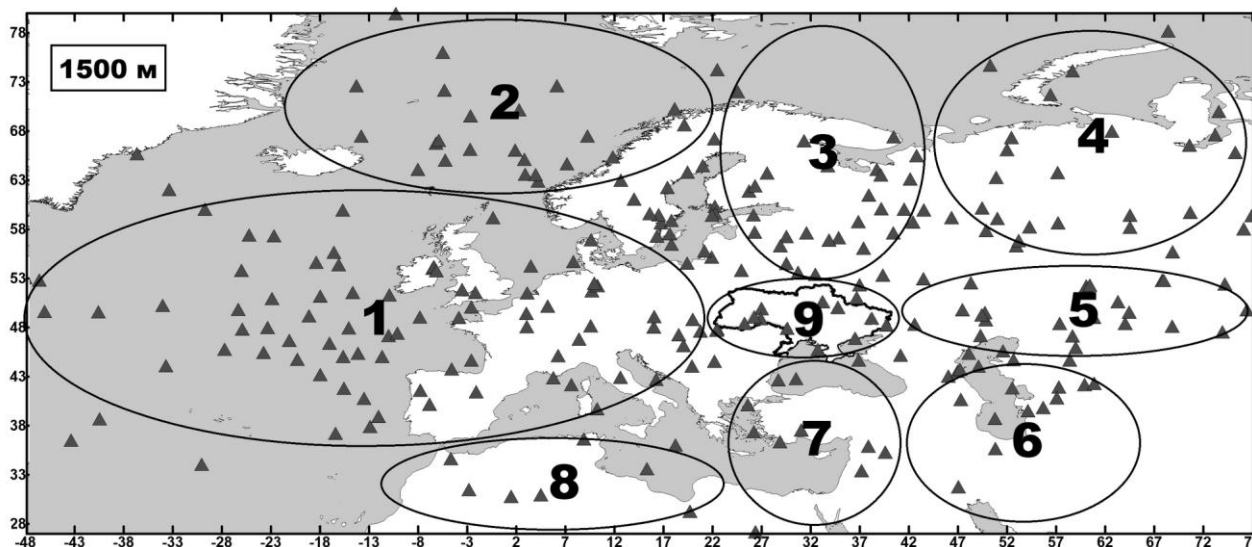


Рис. 1. Схематичне зображення районів формування повітряних мас за якими виділені види траєкторій: 1 – західний, 2 – північно-західний, 3 – північний, 4 – північно-східний, 5 – східний, 6 – південно-східний, 7 – південний, 8 – південно-західний, 9 – місцевий (трикутниками зображені початкові точки траєкторій побудованих для висоти 1500 м над поверхнею землі)

У вузькому сенсі під трансформацією розуміють зміну теплових властивостей фіксованої частки повітря. Оскільки при адиабатичному процесі потенційна температура частки не змінюється при зміні її висоти, індивідуальні зміни властивостей частки під впливом її вертикальних переміщень зазвичай не включають в поняття «трансформація» у вузькому сенсі. Вертикальні швидкості впливають на зміну стійкості повітряної маси і на системи конденсації. Тому, при аналізі трансформації, необхідно розглядати вплив вертикальних рухів на зміну властивостей повітряної маси [16].

В процесі переміщення повітряної маси відбувається турбулентний теплообмін між нею та підстильною поверхнею. Швидкість вітру значно впливає на протікання процесу теплообміну. При сильному вітрі зростає число частинок повітря, які стикаються з поверхнею, але кожна частинка незначно нагрівається або охолоджується від підстильної поверхні. При слабкому вітрі турбулентне перемішування ослаблене і буде більш сильно нагріватися або охолоджуватися тонкий шар повітря, що безпосередньо прилягає до земної поверхні. Тому трансформаційна зміна температури в приземному шарі обернено пропорційна швидкості вітру на шляху перенесення [17]. З іншого боку трансформаційна зміна температури залежить від зміни радіаційного балан-

су підстильної поверхні на шляху переміщення частинки повітря, тобто (при слабкій зміні випаровування та альбедо підстильної поверхні) від зміни кількості хмарності. Збільшенню хмарності відповідає зменшення величини трансформаційної зміни температури [18]. Процеси конденсації змінюють температуру повітря (T) на позитивну величину.

Теоретичні розрахунки трансформації повітряних мас засновані на застосуванні рівнянь припливу тепла, водяної пари і перенесення променистої енергії. Відповідно до рівняння припливу тепла [16]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{RT(\gamma_a - \gamma)}{pg} w + \frac{\varepsilon}{c_p \rho}, \quad (1)$$

де T – температура повітря, t – час, u і v – складові швидкості повітря, R – питома газова стала, γ_a – сухоадіабатичний градієнт, γ – вертикальний градієнт температури, p – тиск, g – прискорення вільного падіння, w – вертикальна швидкість, ε – приплив тепла, c_p – питома теплоємність повітря при постійному тиску, ρ – густина повітря.

Перший доданок праворуч характеризує локальні зміни під впливом адвекції, тобто в зв'язку з переміщенням повітряної маси. Адвективні зміни температури не характеризують трансформацію повітряних мас і повинні бути виключені.

Другий доданок визначає локальні зміни температури під впливом вертикальних рухів. Третя складова дозволяє оцінювати вплив на трансформацію повітряних мас турбулентного перенесення тепла, радіаційного теплообміну і фазових перетворень води в атмосфері.

Наближено можна вважати, що трансформаційна зміна температури ΔT_{mp} прямо пропорційна різниці температур в початковій (T_n) і кінцевій (T_k) точках переміщення повітряної маси [16]:

$$\Delta T_{mp} = T_k - T_n. \quad (2)$$

Зміну термодинамічного стану в більшості атмосферних рухів можна наближено вважати адиабатичною. Зокрема, при вертикальних рухах внаслідок значних перепадів тиску, що спостерігаються в реальних рухах, робота розширення набагато перевершує приплив тепла ззовні та їм можна знехтувати. Значні відхилення можна очікувати лише в нижньому стометровому шарі через приплив тепла від земної поверхні, температура якої значно відрізняється від температури повітря, і в стратосфері, де істотно позначається променистий приплив тепла [19]. Температура і тиск при адиабатичному процесі пов'язані співвідношенням Пуассона (3):

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{c_p}, \quad (3)$$

де c_p – питома теплоємність при постійному тиску, T_0 і p_0 – температура повітря і тиск у початковому стані, а T і p – температура повітря і тиск у кінцевому стані.

Формула Пуассона широко застосовується для порівняння термодинамічного стану різних повітряних мас або при оцінці зміни стану однієї повітряної маси. Для спрощення процесу зіставлення параметрів повітряних мас, їх температури призводять до стандартного тиску термодинамічних шляхом. У метеорології прийнято порівнювати температури повітря, приведеного адиабатичним процесом до тиску 1000 гПа, отримана таким чином температура називається потенційною температурою (Θ):

$$\Theta = T_0 \left(\frac{1000}{p_0} \right)^{c_p}. \quad (4)$$

Рівняння 1-го початку термодинаміки можна записати у вигляді:

$$dQ = c_p \frac{T}{\Theta} d\Theta, \quad (5)$$

де dQ – приток тепла. З (5) випливає, що зміни потенційної температури однозначно пов'язані з

величиною $\frac{dQ}{T}$ [19].

Одним з основних прийомів емпіричного вивчення трансформації повітряних мас є метод траєкторій [16, 20, 21]. Суть методу зводиться до побудови траєкторій руху повітряної частки і визначення зміни її властивостей в процесі переміщення, і таким чином в цілому напрямку трансформації повітряної маси. В процесі переміщення уздовж траєкторії відбувається зміна висоти повітряної частки над земною поверхнею, це супроводжується її адиабатичним нагріванням при опусканні та охолодженням при підйомі. У програмі HYSPLIT [15, 21] значення температури повітряної частки розраховані для різних висот над поверхнею землі, тому для аналізу змін стану повітряної частки, які відбуваються під впливом припливу тепла ззовні або за рахунок фазових перетворень, у дослідженні аналізувалися значення потенційної температури. Виходячи з міркувань, що в процесі трансформації зміна температури повітряної частки включає зміну за рахунок припливу тепла зовні, та зміну за рахунок вертикального переміщення, трансформаційну зміну температури повітряної частки можна записати у вигляді [17, 22]:

$$\Delta T_{mp} = \Delta T_{ad} + \Delta T_q, \quad (6)$$

де ΔT_{mp} – трансформаційна зміна температури, ΔT_{ad} – зміна за рахунок адиабатичного переміщення по вертикалі, ΔT_q – зміна за рахунок припливу тепла внаслідок турбулентного обміну з підстильної поверхнею зовні. Так, як ΔT_q характеризує зміну потенційної температури повітряної частки, то (6) можна записати у вигляді:

$$\Delta T_{mp} \approx \Delta T_{ad} + \Delta \Theta. \quad (7)$$

Величина $\Delta \Theta$ розраховується, як різниця потенційної температури частинки в кінцевій і початковій точці траєкторії

$$\Delta \Theta = \Theta_k - \Theta_n. \quad (8)$$

В результаті побудови траєкторій, були отримані значення температури (T), потенційної температури (Θ), відносної вологості (F) та висоти над поверхнею землі (H) повітряної частки в початковій, кінцевій і проміжних точках траєкторії в термін 10 UTC (13 год за місцевим часом). Наведені у таблиці 1 значення ΔT_{mp} і $\Delta \Theta$ розраховані за допомогою програми HYSPLIT, величина ΔT_{ad} розрахована за рівнянням (7).

Результати дослідження. Райони почат-

кового формування суховіїв. У поверхні землі значну повторюваність мають траєкторії (рис. 2): північно-східного (20%), західного і східного (по 19%) видів, у 16% випадків повітряна маса формувалася безпосередньо на території України, та 14% траєкторій відносяться до північного

виду. На висоті 1500 м спостерігається значна повторюваність: західного (30%), північно-західного (18%), північно-східного (14%), східного (11%) і північного (10%) видів. На висоті 3000 м над поверхнею землі найбільшу повторюваність має західний (45%) вид.

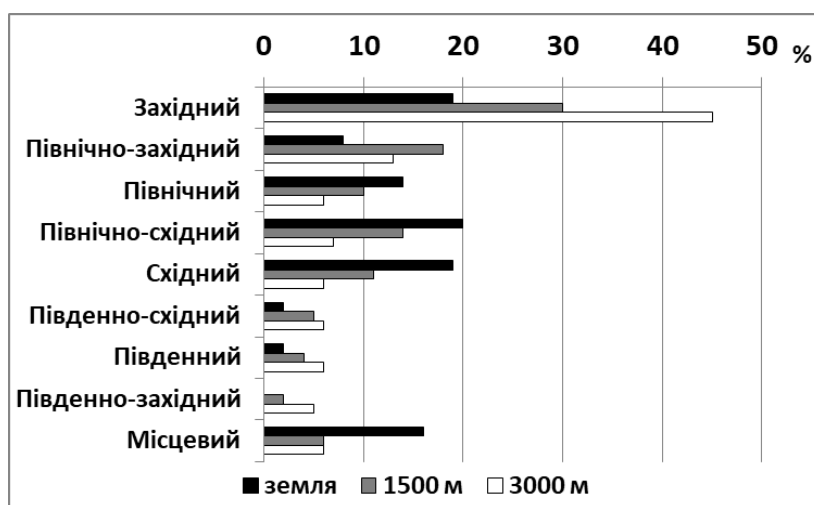


Рис. 2. Повторюваність (%) видів траєкторій

З метою виявлення сезонних особливостей у формуванні повітряних мас, які придбають суховійних властивостей, була розрахована повторюваність видів траєкторій повітряних частинок для кожного місяця вегетаційного періоду (квітень-серпень). Аналіз показав, в квітні найбільшу повторюваність мав західний вид (55%), в травні – східний (36%), в червні – північний (23%), в липні і серпні – північно-східний (27% і 29%, відповідно). На висоті 1500 м над поверхнею землі найбільшу повторюваність в квітні, травні і липні мав західний вид траєкторій (50%, 34% і 36%, відповідно), в червні – північно-західний (32%) і в серпні – східний (26%). У середній тропосфері, на висоті 3000 м, в усі місяці переважала повторюваність західного виду траєкторій (в квітні – 72%, в травні – 40%, в червні – 38%, в липні – 60%, в серпні – 36%). У літні місяці відбувається посилення азорського максимуму і поширення його площі в північному та західному напрямках, тому повітряні частинки, що переміщуються по його північній периферії, приходять на територію України з більш високих широт, ніж у весняні місяці. Цей процес простежується у вигляді збільшення повторюваності північно-західного виду траєкторій в червні-липні. У поверхні землі його найбільший відсоток відзначається в липні (12%), на висоті 1500 м і 3000 м в червні (32% і 24%, відповідно). Північний вид демонструє збільшення відсотка повторюваності в червні-липні, його значення у поверхні землі досягає в червні 23%, на висоті 1500 м в липні 17%. В липні-серпні частина суховіїв на території України пов'язана з форму-

ванням над ЄЧР і Уралом обширного антициклону, в ці місяці відзначається значний відсоток повторюваності північно-східного виду траєкторій (27-29% – у поверхні землі і 18% на висоті 1500 м).

Східний вид траєкторій має у поверхні землі два піки повторюваності: в травні (36%) і серпні (25%), а на висоті 1500 м в серпні (26%). Зростання повторюваності даного виду в травні місяці пов'язане із формуванням областей високого тиску над Україною і півднем ЄЧР, а в серпні з процесами, які викликають переміщення повітряних мас з північного-сходу.

Повторюваність траєкторій, що мають південну складову, не перевищує 17%. У поверхні землі найбільш високий відсоток становить 11% (південний вид в квітні), на висоті 1500 м по 17% (південний і південно-західні види в квітні), на рівні 3000 м – 17% (південно-західний вид в квітні) та 15% (південний в травні).

У другій половині літа відзначається збільшення відсотка повторюваності (27-29%) північно-східного виду траєкторій. Значну повторюваність протягом вегетаційного періоду має вид траєкторій, що бере свій початок на території України (місцевий), його відсоток відносно постійний і складає від 13% в червні до 17% в квітні, травні і серпні. На рівнях 1500 м і 3000 м повторюваність даного виду зменшується, і його максимальне значення складає 10-11% в серпні місяці.

Для більш детального вивчення процесів призводять до виникнення суховіїв в різних частинах території України, була розрахована по-

вторюваність видів траєкторій для різних агрокліматичних зон. Аналіз показав, що в зоні Полісся у поверхні землі та на висотах найбільшу повторюваність має західний вид траєкторій (24 % – у земної поверхні, 33 % – на висоті 1500 м, 40 % – на висоті 3000 м). Другим за кількістю у поверхні землі є східний (22 %), на висоті 1500 м – північно-західний (18%), на висоті 3000 м – південно-західний (13 %) види. У Лісостеповій зоні найбільшу повторюваність на всіх висотах має так само західний вид траєкторій (23 %, 37 % і 50 %, відповідно). Другим по повторюваності у поверхні земля є місцевий (18 %), на висотах 1500 м і 3000 м – північно-західний (20 % і 14 %, відповідно) вид. У зоні Степу найбільший відсоток траєкторій у землі відноситься до північно-

східного виду (27 %), на висотах 1500 м і 3000 м до західного (28 % і 45 %, відповідно). Другим по повторюваності у поверхні землі є східний вид (18 %), на висоті 1500 м – північно-східний (18 %), на 3000 м – північно-західний (13 %) вид.

Трансформація повітряних мас. Аналіз зміни температури повітряних частинок ΔT_{mp} у земної поверхні показав (табл. 1), що для усіх видів траєкторій вона має позитивну величину. Найбільше зростання температури відбувається при переміщенні повітряних частинок по північно-східному (17,9° С), північно-західному (17,6° С) і південному (16,4° С) видам траєкторій. При цьому найбільше зростання температури за рахунок припливу тепла ззовні $\Delta \Theta$ від-

Таблиця 1

Трансформаційна зміна температури та відносної вологості повітряної частинки, для різних видів траєкторій

Вид траєкторії	ΔT_{mp} , °С	$\Delta \Theta$, °С	$\Delta T_{ад}$, °С	ΔH , м	ΔF , %	
Земля						
1	Західний	15,7	9,4	6,3	-663	-36
2	Північно-західний	17,6	13,6	4,0	-503	-39
3	Північний	13,9	10,4	3,5	-346	-33
4	Північно-східний	17,9	9,0	8,9	-908	-23
5	Східний	8,7	5,3	3,4	-416	-3
6	Південно-східний	9,1	5,4	3,7	-486	3
7	Південний	16,4	13,0	3,4	-467	-18
8	Південно-західний	-	-	-	-	-
9	Місцевий	10,0	7,8	2,2	-242	-17
1500 м						
1	Західний	16,3	4,0	12,3	-1852	-4
2	Північно-західний	22,2	-2,9	25,1	-2504	-5
3	Північний	13,9	-0,3	14,2	-1443	-5
4	Північно-східний	23,2	-0,1	23,3	-2302	-20
5	Східний	4,4	2,0	2,4	-178	4
6	Південно-східний	5,9	-4,7	10,6	-837	0
7	Південний	2,7	-5,3	8,0	-600	19
8	Південно-західний	7,6	-7,5	15,1	-1285	32
9	Місцевий	9,0	1,2	7,8	-727	-3
3000 м						
1	Західний	12,4	-5,3	17,7	-1777	-6
2	Північно-західний	18,1	-4,7	22,8	-2249	-23
3	Північний	15,0	-4,6	19,6	-1966	-10
4	Північно-східний	11,5	-2,0	13,5	-1206	4
5	Східний	9,5	-3,8	13,3	-1246	9
6	Південно-східний	-3,9	-4,4	0,5	449	3
7	Південний	9,0	-6,8	15,8	-1254	12
8	Південно-західний	-5,4	-4,2	-1,2	460	28
9	Місцевий	16,2	-5,1	21,3	-1971	2

значаються при пересуванні по північно-західному (13,6° С), південному (13,0° С) і північному (10,4° С) видам траєкторій. Як видно з таблиці 1, для всіх видів траєкторій відзначаються низхідні рухи при переміщенні повітряних частинок. Найбільші значення ΔH характерні для

північно-східного і західного видів (-908 м і -663 м, відповідно). Це призводить до додаткового збільшення температури повітряних частинок у наслідку адіабатичного процесу. Найбільше значення $\Delta T_{ад}$ мають частки, що переміщуються

по північно-східному ($8,9^{\circ}\text{C}$) і західному ($6,3^{\circ}\text{C}$) виду траєкторій.

На висоті 1500 м над землею поверхнею при переміщенні за всіма видами траєкторій в середньому відзначається зростання температури повітряних частинок. Найбільші значення ΔT_{mp} спостерігаються при переміщенні повітряних мас по північно-східному ($23,2^{\circ}\text{C}$), північно-західному ($22,2^{\circ}\text{C}$) і західному ($16,3^{\circ}\text{C}$) видам. Аналіз $\Delta\Theta$ показав, що за винятком східного і місцевого видів іншим траєкторіям характерне зменшення температури повітряних частинок. Найбільші від'ємні $\Delta\Theta$ характерні для південно-західного ($-7,5^{\circ}\text{C}$), південного ($-5,3^{\circ}\text{C}$) і південно-східного ($-4,7^{\circ}\text{C}$) видів. З цього випливає, що основний внесок в нагрів повітряних частинок на висоті 1500 м вносить збільшення їх температури за рахунок адіабатичного опускання при переміщенні уздовж траєкторії. Так, наприклад, для північно-західного виду траєкторій середнє значення ΔH становить -2504 м , чому відповідає величина $\Delta T_{ad} = 25,1^{\circ}\text{C}$.

На висоті 3000 м відзначаються позитивні значення ΔT_{mp} для всіх видів траєкторій виключаючи південно-західний і південно-східний види, при яких в результаті трансформації температура повітряних частинок зменшується в середньому на $-5,4^{\circ}\text{C}$ і $-3,9^{\circ}\text{C}$, відповідно. Найбільше зростання температури відбувається при переміщенні частинок по північно-західному ($18,1^{\circ}\text{C}$), місцевому ($16,2^{\circ}\text{C}$) і північному ($15,0^{\circ}\text{C}$) виду траєкторій. При цьому для всіх видів траєкторій відзначається зменшення потенційної температури повітряних частинок на від $-6,8^{\circ}\text{C}$ для південного до $-2,0^{\circ}\text{C}$ для північно-східного видів траєкторій. Прогрів повітряних мас на цій висоті, як і на висоті 1500 м, відбувається за рахунок адіабатичного нагрівання. Додатні значення ΔT_{ad} відзначаються для всіх видів траєкторій, виключаючи південно-західні. У разі траєкторій південно-західного виду, як і південно-східного, при якому відзначається найменші додатні значення, спостерігаються висхідні вертикальні переміщення повітряних частинок.

Аналіз відносної вологості повітряних часток показав, що у поверхні землі її найбільше зменшення спостерігається при переміщенні по північно-західному (-39%), західному (-36%) і

північного (-33%) виду траєкторій. На висоті 1500 м для траєкторій північного, західного та місцевого видів характерне зменшення F , з найбільшою величиною -20% для північно-східного виду. Для повітряних мас, що переміщуються за траєкторіями східного, південно-східного, південного і південно-західного видів спостерігається збільшення F з найбільшим значенням 32% для південно-західного виду. На висоті 3000 м для західного, північно-західного і північного видів траєкторій має місце зменшення F (від -23% до -6%), для всіх інших видів траєкторій величина F зростає, з максимальним значенням $\Delta F = 28\%$ для південно-західного виду траєкторій.

Висновки. У поверхні землі основну роль у формуванні суховіїв мають синоптичні процеси східного типу. На висотах відзначається переважання західного і північно-західного видів траєкторій, причиною чого є західний перенос помірних широт.

Аналіз сезонних змін повторюваності видів траєкторій показав, що у поверхні землі в квітні в більшості випадків повітряні маси приходили з районів Західної Європи і Північної Атлантики, а з травня по серпень найбільший відсоток траєкторій брав свій початок в північних і північно-східних районах ЄЧР і північно-західній частині Азійського континенту.

На висотах з квітня по липень основними районами формування повітряних мас, були райони Західної, Північної та Південної Європи і Північної Атлантики, в серпні значний відсоток повітряних мас надходили з південних районів ЄЧР, Північного Кавказу і Казахстану.

У поверхні землі основний внесок в зростання температури повітряної маси в процесі її трансформації вносить приплив тепла від підстильної поверхні. У разі значного опускання повітряної частки при її переміщенні уздовж траєкторії величина її адіабатичного нагрівання стає порівнянна з прогріванням ззовні, що призводить до максимальних значень трансформаційної зміни температури. На висоті причиною збільшення температури повітря служить процес адіабатичного опускання. Висушування повітря відбувається при переміщенні повітряних мас по усім видам траєкторій (виключаючи південно-східний вид) біля поверхні землі і по західному, північно-західному і північному видам на висоті.

Література

1. Туманян, А. Ф. Засухоустойчивость сортообразцов ярового ячменя / А. Ф. Туманян, Хандам Васим, Н. В. Тютюма // Вестник РУДН. – 2010. – № 2. – С. 43-49.
2. Михеева, М. А. Влияние высоких температур на устойчивость древесных растений в городской среде / М. А. Михеева., А. И. Фёдорова // Вестник ВГУ. – 2011. – № 2. – С. 166-175.
3. Паиштецкий, В. С. Влияние неблагоприятных природных явлений на деградацию почв и агропромышленный комплекс Крыма / В. С. Паиштецкий, К. Г. Женченко, А. В. Приходько // Бюллетень Почвенного института

- им. В. В. Докучаєва. – 2015. – Вып. 77. – С. 94-105.
4. Татарчук, О. Г. Дослідження просторово-часового розподілу суховіїв на території України в умовах сучасного клімату / О. Г. Татарчук, М. Б. Барабаш // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2007. – Вып. 256. – С. 140-154.
 5. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
 6. Семёнова, И. Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период // *Труды ГГО.* – 2014. – Вып. 571. – С. 134-146.
 7. Бучинский, И. Е. Засухи и суховеи. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
 8. Бучинский, И. Е. Засухи, суховеи и пыльные бури на Украине и борьба с ними. – К.: Урожай, 1970. – 236 с.
 9. Волеваха, В. О. Суховії на Україні / В. О. Волеваха, В. І. Ромушкевич. – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 1972. – 172 с.
 10. Волеваха, В. А. О режиме метеозаэлементов в малоподвижных антициклонах, с которыми связано возникновение засух на Украине. // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 1971. – Вып. 108. – С. 52-65
 11. Kodama, Y. M. Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events / Y. M. Kodama, Y. Tomiya, S. Asano // *J. of the Met. Society of Japan.* – 2009. – Vol. 87. no. 4, – pp. 665-685. DOI:10.2151/jmsj.87.665
 12. Fuhrmann, C. M. A trajectory approach to analyzing the ingredients associated with heavy winter storms in Central North Carolina / C. M. Fuhrmann, C. E. A KONRAD II // *Weather and Forecasting.* – 2013. – Vol. 28. №. 3. – pp. 647-667. doi.org/10.1175/WAF-D-12-00079.1
 13. Holtzlag, A. A. M. A high-resolution air-mass transformation model for short-range weather forecasting / A. A. M. Holtzlag, E. I. F. De Bruijn, H.-L. Pan // *Monthly Weather Review.* – 1990. – Vol. 118. – pp. 1561-1575. doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2
 14. Електронна база кліматичних даних. URL:<https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo> (дата звернення: 10.08.2016)
 15. Air Resources Laboratory NOAA. – Режим доступу : \www/URL: <https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive> (дата звернення: 10.03.2018)
 16. Зверев, А. С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
 17. Воробьев, В. И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
 18. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1 / под ред. С. Л. Белоусова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 702 с.
 19. Динамическая метеорология. Теоретическая метеорология / под ред. Д. Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 608 с.
 20. A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA. / M. H. David, S. Luke, E. D Robert etc // *Int. J. Climatol.* – 2010. – no. 30. – pp. 569-581/
 21. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system / A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph etc // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 2015. – №. 96. – pp. 2059-2077.
 22. Практикум по синоптической метеорологии. Руководство к лабораторным работам по синоптической метеорологии и атлас учетных синоптических материалов / под ред. В. И. Воробьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 268 с.

UDC 551.524, 551.571

Mariia Slizhe,

PhD student, Odessa State Environmental University,
Lvivska str., 15, Odessa, 65016, Ukraine,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

Youssef El Hadri,

PhD student, Odessa State Environmental University,

e-mail: magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

FORMATION AREAS AND TRANSFORMATION OF AIR MASSES ACQUIRING PROPERTIES OF DRY WIND IN THE TERRITORY OF UKRAINE

Formulation of the problem. Dry wind is a widespread dangerous phenomenon which reduces the yield of crops in Ukraine. The hot and dry winds inflict a special harm to spring grain crops. Active development of these crops falls during the spring-summer period. Dry wind can significantly reduce or completely destroy future harvests in a short time.

The purpose of the article. The aim of the study is to determine the areas of initial formation of dry winds in Ukraine in recent decades and to obtain quantitative transformation value of air masses acquiring properties of dry wind on the territory of Ukraine.

Methods. Daily observations at 24 meteorological stations for the period 2006-2015 were used as the initial dataset and were obtained from NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVICE. To determine

the dry wind according to the specified criteria the data for 8 sets of daily observations of air temperature, relative humidity and wind speed were analyzed. To define the place where the formation of an air mass begins, taking dry wind properties on the territory of Ukraine, backward trajectories of the previous movement of air particles were constructed for the period of 120 hours (5 days) for the following heights: at the earth's surface, 1500 m and 3000 m. For construction of the backward trajectories, the Air Resources Laboratory NOAA, HYSPLIT program were used. As a result of trajectories construction, temperature values, potential temperature, relative humidity of the air particle and its height above the ground, at the initial, final and intermediate points of the trajectory within 10 UTC were obtained and their transformational changes were calculated.

Results. On the earth's surface, synoptic processes of the eastern type played the main role in the formation of the dry winds. At the heights, the predominance of the western and north-western types of trajectories was noted. At the earth's surface the main contribution to air mass temperature rise in the process of its transformation was made by the inflow of heat from the earth's surface. At height, the reason for the increase in air temperature was the process of adiabatic descent. Dry air occurred when air masses moved through all kinds of trajectories (excluding the south-eastern form) at the surface of the earth and along the western, north-western and northern types at height.

Scientific novelty and practical significance. The results of the analysis provide additional information that can be used to develop a method for forecasting dry winds on the territory of Ukraine in modern climatic conditions.

Keywords: dry wind, transformation, air mass, temperature, potential temperature, humidity, back-trajectory, HYSPLIT.

References

1. Tumanjan, A. F., Handam Vasim, Tjutjuma, N.V. (2010). Drought resistance of varieties of spring barley. RUDN University, 2, 43-49.
2. Miheeva, M. A., Fjodorova, A. I. (2011). Effect of high temperatures on stability of woody plants in urban environments. Voronezh: VSU, 2, 166-175.
3. Pashtekij, V. S., Zhenchenko, K. G., Prihod'ko, A. V. (2015). Influence of adverse natural phenomena on soil degradation and agro-industrial complex in Crimea. Moskva: Počvennyj institut im. V.V. Dokučeva, 77, 94-105.
4. Tatarchuk, O. H., Barabash, M. B. (2007). Investigation of the spatial-temporal distribution of dry winds on the territory of Ukraine in the conditions of the modern climate. Scientific Proc. UkrSRGMI, 256, 140-154.
5. Lipins'kyy, V. M., Dyachuk, V. A., Babichenko, V. M. (Eds.) (2003). Climate of Ukraine. Kiev: Raevsky Publ, 343.
6. Semenova, I. G. (2014). An estimation of spatial and temporal distribution of drought in Ukraine during the vegetation period. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory, 571, 135-147.
7. Buchinskii, I. E. (1976). Droughts and hot dry winds. Leningrad: Gidrometeoizdat, 214.
8. Buchinskii, I. E. (1970). Droughts, hot dry winds and dust storms in Ukraine and the fight against them. Kiev: Harvest, 236.
9. Volevakha, V. O., Romushkevych, V. I. (1972). The dry winds in Ukraine. Kiev: Publ. Of Kiev University, 172.
10. Volevakha, V. O. (1971). The mode of meteorological elements in sedentary anticyclones, which are associated with the occurrence of droughts in Ukraine. Scientific Proc. UkrSRGMI, 108, 52-65.
11. Kodama, Y.-M., Tomiya, Y., Asano, S. (2009). Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events. J. of the Met. Society of Japan. 87(4). 665-685. DOI:10.2151/jmsj.87.665
12. Fuhrmann, C. M., Konrad II, C. E. (2013). A trajectory approach to analyzing the ingredients associated with heavy winter storms in Central North Carolina. Weather and Forecasting. 28(3). 647-667. doi.org/10.1175/WAF-D-12-00079.1
13. Holtzlag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F., Pan, H.-L. (1990). A high-resolution air-mass transformation model for short-range weather forecasting. Monthly Weather Review. 118. 1561-1575. doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2
14. Electronic climatic database. Available at : <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>
15. Air Resources Laboratory NOAA. Available at : <https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>
16. Zverev, A. S. (1977). Synoptic meteorology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 711.
17. Vorob'ev, V. I. (1991). Synoptic meteorology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 616.
18. Belousov, S. L. (Ed.) (1986). Guide to short-term weather forecasts. Part 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 702.
19. Lajhtman, D. L. (Ed.) (1976). Dynamic meteorology. Theoretical meteorology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 608.
20. David, M. H., Luke, S., Robert, E. D., David, B. K., Stephen, D. G., Michael, L. D., Temple, R. L., Caroline, P. N., Philip, J. S. (2010). A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA. Int. J. Climatol, 30, 569-581.
21. Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, Bull. Amer. Meteor. Soc., 96, 2059-2077.
22. Vorob'ev, V. I. (Ed.) (1983). Workshop on synoptic meteorology. Manual for laboratory work on synoptic meteorology and atlas of accounting synoptic materials. Leningrad: Gidrometeoizdat, 268.

ЕКОЛОГІЯ

UDC 502.52(292.485):631.153.3(477)

Sergiy Petrovych Sonko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Department of ecology and safety of vital functions, Uman National University of Horticulture,
Instyutska str., 1, Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine,
e-mail: sp.sonko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>;

Nadiya Vasylivna Maksymenko,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Monitoring and Nature Management,
V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody sq., 6, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: nadezdav08@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>;

Vilina Anatoliivna Peresadko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Department of Physical Geography and Cartography, V. N. Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: vilinaperesadko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

Iryna Prokhorivna Sukhanova,

PhD (Biology), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: sukhanoffaira@gmail.com,

Olga Volodymyrivna Vasylenko,

PhD (Agrarian Sciences), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: vsolga05@gmail.com,

Olga Volodymyrivna Nikitina,

PhD (Agrarian Sciences), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: sp.sonko@gmail.com

CONCEPT OF ENVIRONMENTALLY PROTECTIVE FARMING FOR THE FOREST-STEPPE ZONE*

С.П. Сонько, Н.В. Максименко, В.А. Пересацько, І.П. Суханова, О.В. Василенко, О.В. Нікітіна. КОНЦЕПЦІЯ ЕКОЛОГІЧНО-ОЩАДЛИВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ДЛЯ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ. У статті акцентовано увагу на тому, що сільське господарство є найближчою до природних ландшафтів галуззю матеріально-енергетичних відносин. Тому основним завданням агроекології є пошук форм управління (спеціалізації), що не перевищуватиме природних можливостей певної території. Обґрунтовано, що найкраще управління природокористуванням на агроландшафтному рівні може бути реалізоване лише в разі повної визначеності земельної власності, а також за наявності невеликих площ у фермерів, які відповідатимуть низовим рівням ландшафтної структури. За таких умов фермер може піклуватися про підтримку природної родючості землі. Крім того, визначена власність на землю (а не оренду) змусить селянина сформувати спеціалізацію, щоб максимально працювати на самозабезпечення. За таких умов відродження худоби як гарантія підтримки природної родючості ґрунту - це лише питання часу.

Авторська концепція, адаптована до умов лісостепу України, складається з серійних блоків дослідження: "Екологічний моніторинг агроландшафтних компонентів"; "Екологічна конверсія агроландшафтів"; "Ландшафтно-екологічне планування". Головна мета цієї Концепції - не сфокусуватися на великих агрохолдингах, а на фермерських фермах.

Досвід проведення промислової типології сільського господарства в регіонах лісостепової зони України дає підстави вважати, що сучасна спеціалізація не тільки не є оптимальною в плані відповідності природним умовам, а й у багатьох випадках є руйнівною для ґрунтів. Тому оцінка впливу на навколишнє середовище кожного виду сільського господарства, в першу чергу в лісостепу, а згодом і по всій території України, може бути аналогічною сучасній "електронній декларації" і допомогти розробити стратегію екологічно раціональне управління сільським господарством. Розроблені технологічні методи екологічного перетворення (вермикультури, біодинаміка та ін.) адаптовані до умов лісостепу України та допоможуть власникам селянських та сільськогосподарських підприємств реалізувати цю стратегію на практиці.

Ключові слова: агроландшафти, типологія сільського господарства, конверсія, екологічно толерантне землеробство, ландшафтно-екологічне планування.

С. П. Сонько, Н. В. Максименко, В. А. Пересацько, І. П. Суханова, О. В. Василенко, О. В. Нікітіна. КОНЦЕПЦІЯ ЕКОЛОГІЧЕСКИ БЕРЕЖЛИВОГО ЗЕМЛЕДЕЛІЯ ДЛЯ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ. В статье акцентировано внимание на том, что сельское хозяйство является ближайшей к природным ландшафтам отраслью материально-энергетических отношений. Поэтому основной задачей агроэкологии является поиск форм управления (специализации), которое не будет превышать природных возможностей определенной территории. Обосновано, что лучшее управление природопользовани-

© Son'ko S. P., Maksymenko N. V., Peresadko V. A., Sukhanova I. P., Vasilenko O. V., Nikitina O. V.

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-14>

ем на агроландшафтном уровне может быть реализовано только в случае полной определенности земельной собственности, а также при наличии небольших площадей у фермеров, которые будут отвечать низовым уровням ландшафтной структуры. При таких условиях фермер может заботиться о поддержании естественного плодородия земли. Кроме того, определенная собственность на землю (а не аренду) заставит крестьянина сформировать специализацию, чтобы максимально работать на самообеспечение. При таких условиях возрождение скота как гарантия поддержки естественного плодородия почвы - это лишь вопрос времени.

Авторская концепция, адаптированная к условиям лесостепи Украины, состоит из серийных блоков исследования: "Экологический мониторинг агроландшафтных компонентов"; "Экологическая конверсия агроландшафтов"; "Ландшафтно-экологическое планирование". Главная цель этой Концепции - не сфокусироваться на крупных агрохолдингах, а на фермерских хозяйствах.

Опыт проведения промышленной типологии сельского хозяйства в регионах лесостепной зоны Украины дает основания считать, что современная специализация не только не является оптимальной в плане соответствия природным условиям, но и во многих случаях является разрушительной для почв. Поэтому оценка воздействия на окружающую среду каждого вида сельского хозяйства, в первую очередь в лесостепи, а затем и по всей территории Украины, может быть аналогичной современной "электронной декларации" и помочь разработать стратегию экологически рационального управления сельским хозяйством. Разработанные технологические методы экологического преобразования (вермикюльтуры, биодинамика и др.) адаптированы к условиям лесостепи Украины и помогут владельцам крестьянских и сельскохозяйственных предприятий реализовывать эту стратегию на практике.

***Ключевые слова:** агроландшафты, типология сельского хозяйства, конверсия, экологически толерантное земледелие, ландшафтно-экологическое планирование.*

Introduction. Reducing agrophytocenosis resistance due to the use of one-species culture and radical change in natural landscapes as well as soils natural fertility decrease caused by humus loss and the need to apply elevated doses of chemically synthesized NPK are among many directions of the negative impact of agriculture on the environment. (Altieri et al., 2011; Bommarco et al., 2012; Caron et al., 2014).

Direct consequence of this negative impact is the fact that since the beginning of the 3rd millennium the world agriculture has left behind industry and transportation, burning fossil fuels, mainly due to plowing of a large array of lands ($C_{soil} + O_2 \text{ atmosphere} = CO_2$) by emissions of carbon monoxide to atmosphere by 10% (Lun et al., 2016; Foley, 2011).

Analysis of previous studies and publications. It is surprising that this CO_2 source in the atmosphere due to its imperceptibility (it has gradually expanded since the beginning of the "green revolution") is underestimated even in serious monographic studies and practical recommendations that take into account only methane emissions in livestock production (Gracz, 2018; Frank et al., 2015). However, there is another, also "stretched out in time" and, therefore, externally imperceptible impact of agriculture on the landscape. It is loss of soil humus (Semenov, 2013). It is precisely this that represents the greatest danger to the survival of mankind. The deepening of this process is facilitated by the globalization phenomenon through which farmers are forced to pursue profits to "pump" from the soil the last drops of their natural fertility (Almeida et al., 2016; Zhang, 2018). Given that agriculture is the industry close to natural landscapes by the type of substance-energy relations (Bürgi et al., 2017) the search for such forms of its management (specialization) which would not exceed natural opportunities of a particular area is, perhaps, the main task, solu-

tion to which should be taken into consideration by the environmentalists (Zuazo et al., 2011; Kiryushin, 2018). Once the world-renowned scientist M.I. Vavilov proposed "to shift agriculture to the north", in particular, to cultivate rye not wheat in a well-moistened Nechernozem land. Today, the basis of crop production in such countries as Germany, Finland, Sweden and Norway is exactly rye. M.I. Vavilov also believed that wheat should be replaced with sorghum in the southern steppe. Currently, in Italy, Spain and France, the area of sorghum has increased 30-60 times (Rutz et al. 2014). The given example is the evidence of understanding deep relationship between mechanisms of degradation of the landscape's individual components (in particular, soils) and technologies by which it is possible to preserve the ecological situation. In many countries of the world these issues are covered in the landscape legislation which has not been adopted in Ukraine yet (Maksymenko, 2017a; Bulgakov, 2018; Douglas, 2017). These issues are of great importance for Forest-Steppe zone where the steppe and forest landscapes diversity does not allow us to explore all data.

How to combine all aspects of ecologically-friendly farming in a single methodologically harmonious concept? The answer to this question determines the relevance and practical orientation of our study. To a large extent, the capability of our concept is based on the biodiversity support in agriculture through the division of its specialization (Phalan et al., 2011).

Attempts to "add" agricultural activity to the existing bioclimatic potential has a long history and the method of such research has long-standing traditions (Kostrovickij, 1970). The mentioned problem is integrated because at the level of monitoring it concerns aspects of negative environmental impact of agriculture and at the level of nature use it concerns farming technologies, land management and legal aspects and landscape planning. Indeed, in our

study, not a separate method or group of methods is considered but the Concept which uses a set of methods and practical approaches which can be schematically divided into three stages (Fig. 1).

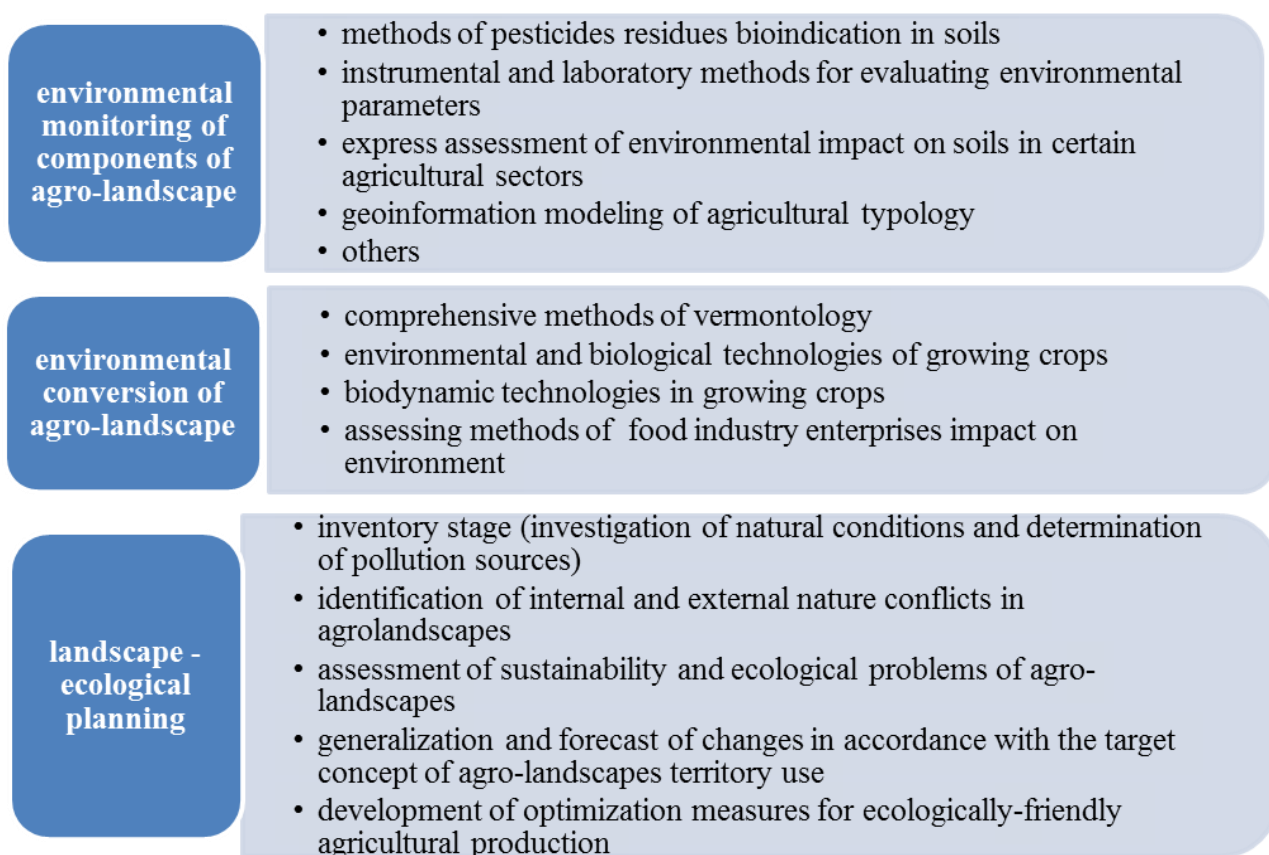


Fig. 1. Algorithm for the implementation of the Concept of environmental protective management in agriculture

The study of the humus balance in soils conducted by us on the territory of Kharkiv region in the mid 80-ies of the last century showed that only 7 out of 430 farms have this positive balance (Sonko, 2018b). Other farms spent this priceless resource of the biosphere at a pace that doubled and even tripled the pace of its accumulation (Fig. 2). This happens when full crop rotations are used after one or even two fallow lands. Today's realities indicate that even with the presence of technologies of five-year rotations three-year rotations are used in agricultural holdings with two fields under cultivated technical crops (Gospodarenko, 2015). The direct consequence of this is the catastrophic loss of land fertility, percentage of humus in which in the last 40 years decreased from 6-7% in the early 70's to 2.5-3% in 2010. Today, according to field surveys and passports analysis of certain fields in the farms of Uman district it is up to 1–1.7% (Kryvda et al., 2009; Medvedev et al., 2001).

Materials and methods. Approbation of theoretical foundations of the proposed Concept allows to develop a harmonious methodology (Fig. 1) adapted to the conditions of Forest-Steppe areas of

Ukraine and to gradually solve the problems formulated in the relevance of the work.

At the first stage numerous methods of environmental monitoring of agricultural landscape's various components are used, such as methods of biological indication of pesticide residues in soils, instrumental and laboratory methods for evaluating environmental parameters, express estimation of environmental impacts of separate branches of agriculture on soils, geoinformation modeling of agriculture typology (Sonko, 2018b; Sonko, 2018a), etc.

The developed method allows to expressly assess the environmental impact of certain industries on the territory of Cherkasy, Kharkiv, Kirovograd and Poltava regions (Fig. 3).

Results. In particular, within the framework of vermiculture study, the dynamics of the population of earthworm *Eisenia foetida* was studied depending on the different types of substrates (at the stage of breeding). It is important to note that the obtained population is 100% aboriginal because it is derived by assimilation from representatives of several local populations (Cherkasy, Kirovograd and Vinnytsia regions). The studies revealed a certain dependence of the dynamics of *Eisenia foetida* population den-

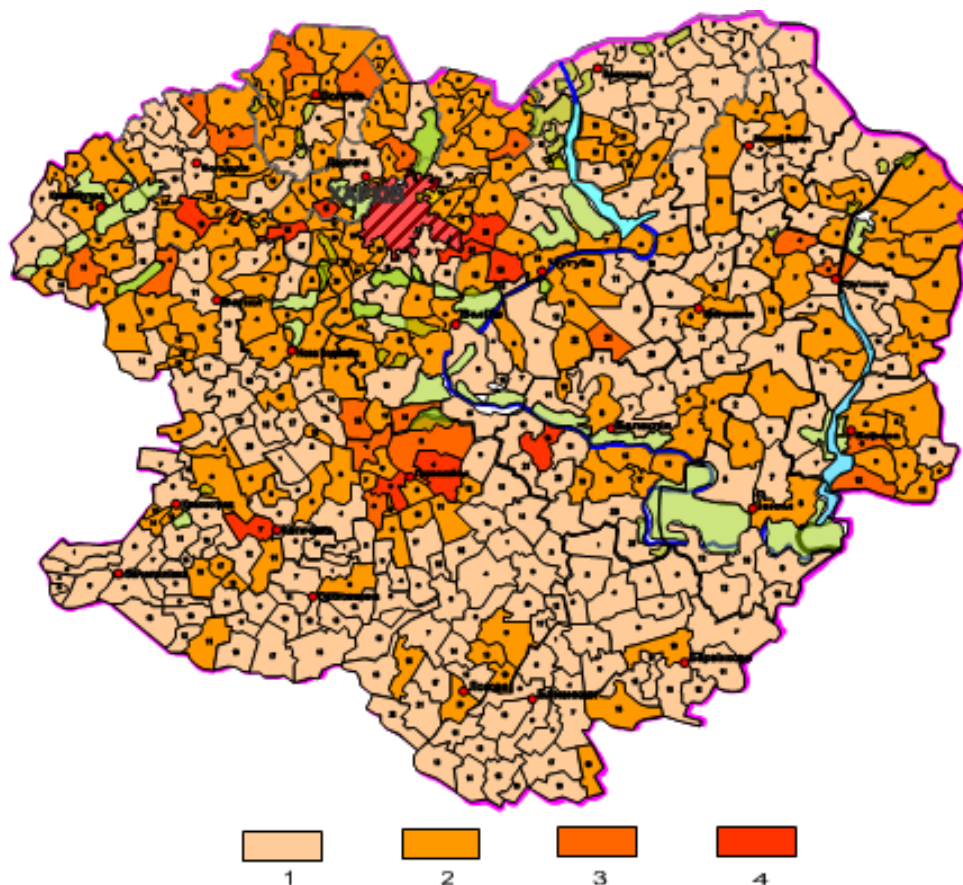


Fig. 2. Environment assessment of agricultural system (Sonko, 2009).
The value of the ecological hazard of agriculture in all farms of Kharkiv region (Kez).
1 – less than 0,5; 2- 0,5 -0,8; 3 - 0,8 – 1,0; 4 - more than 1,0

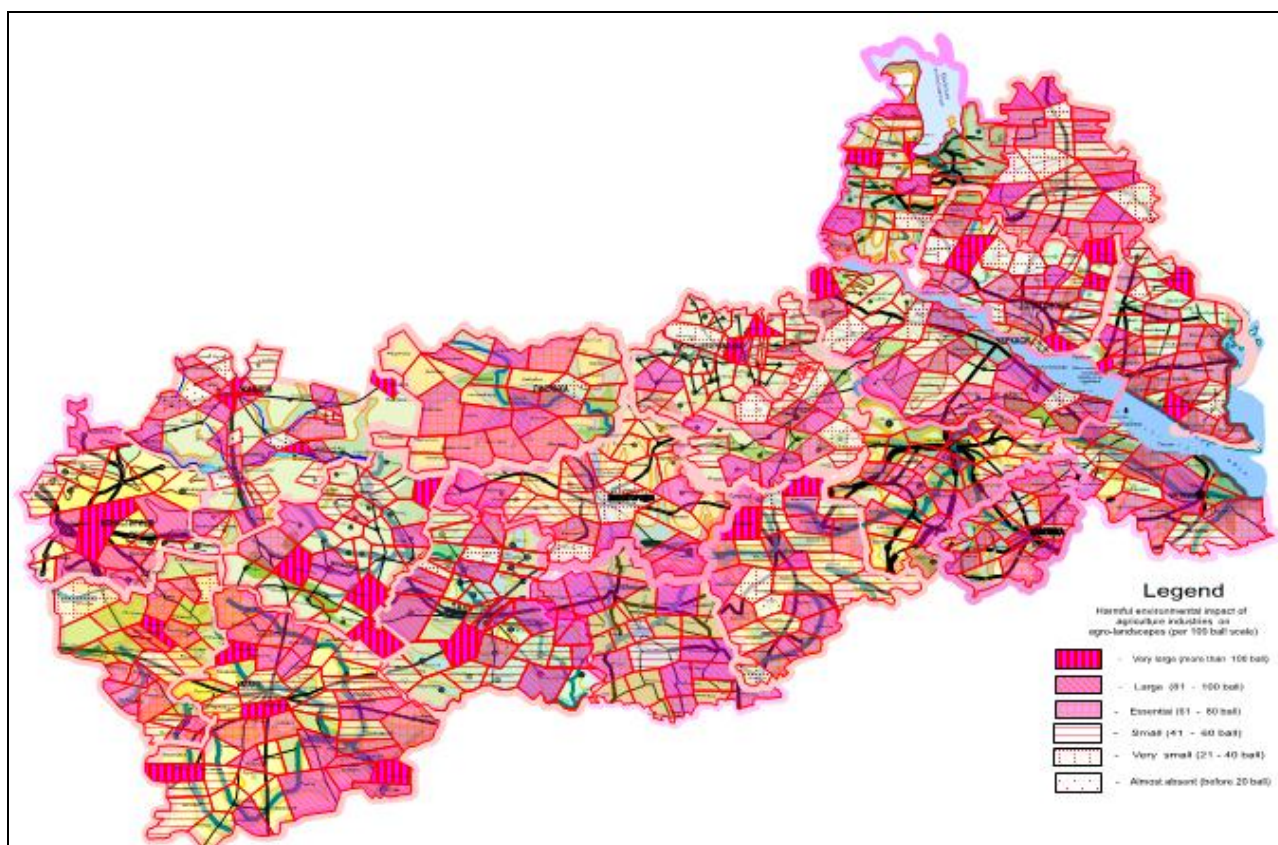


Fig. 3. Assessment of agricultural branches impact on the soil in Cherkasy region (2014-2016)

sity on the volume of the storing bunker, so the largest increase (47 times) was observed in the storing bunker number 6. This is explained by the fact that for this variant, at the time of the experiment start for each worm there were 0.0009 m³ of substrate (in the storing bunker number 4 – 0.0008 m³). The dependence is quite natural because distribution of the population is determined by the ecological capacity of the environment which main parameters are space and resources. The volume of substrate at 0.0009 m³ per worm (at the time of population formation) is the most optimal among the selected research options regarding the size and density of *Eisenia foetida*

population. The high population growth indirectly indicates that vermiculture produces more biohumus production than other experimental variants (Chattopadhyay, 2012; Tripathi, 2004). In general, the results of experiments on vermiculture have shown that it is possible to breed *Eisenia foetida* aboriginal population adapted to local conditions in farms, as well as the possibility of biological utilization of organic matter formed annually in the fields with the help of a worm.

A study was also carried out on the influence of vermiculture product's introduction for agricultural crops (Fig. 4).

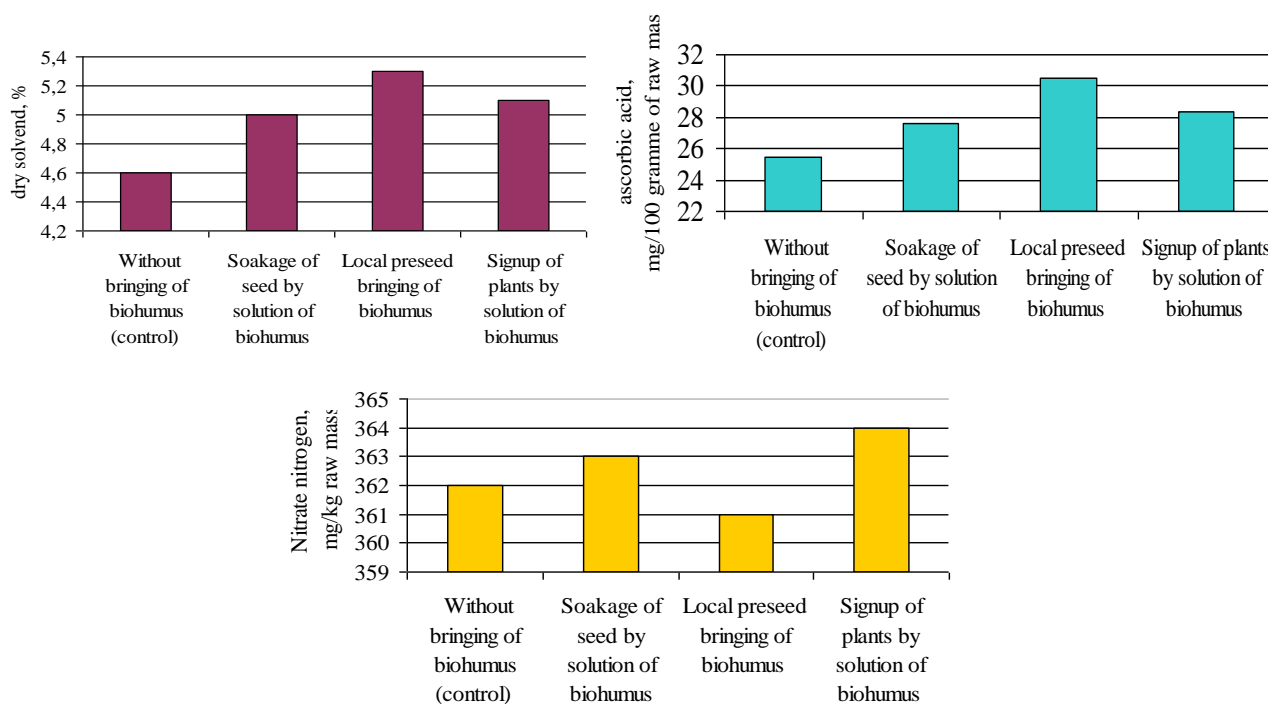


Fig. 4. Biochemical parameters of the sown salad composition depending on the biohumus use methods (average for 2015–2016)

It has been found that the biohumus use does not affect the level of nitrate contamination of salad and allows obtaining high yield of environmentally safe products. In general, besides the fact that the products were environmentally safe, it was characterized by comparatively high qualitative characteristics in terms of dry matter and vitamin C content. Interesting results provided a comparison of different ways of introducing biohumus for coriander through biometric and yield indicators (Fig.5).

In fact, one of the main environmental results of experiments with vermiculture products was the high consumer and ecological quality of the final product, in particular, nitrate content in tomatoes (Fig. 6).

According to the results of the experiment, in the variants where local pre-planting of biohumus was made, the highest biometric indicators were

recorded for all studied parameters (plant height, fruit weight, fruit diameter and mean number of fruits). In general, the biohumus use increases the average yield of tomatoes by 28.6%. The average nitrate content in the biohumus variants was 9.5 mg/kg which is ten times less than the MPC indicating that the biohumus is truly environmentally friendly fertilizer. A high biological efficiency (up to 89%) of biohumus has been registered in relation to the containment of the late blight development.

At the third stage, due to modern methods of landscape-ecological planning (LEP), schemes considering the features of a particular landscape in the organization of various types of agricultural activities have been developed. First of all, it relates to relief and soil which are decisive in the development of environmental optimization measures for environmentally-friendly agricultural production. LEP

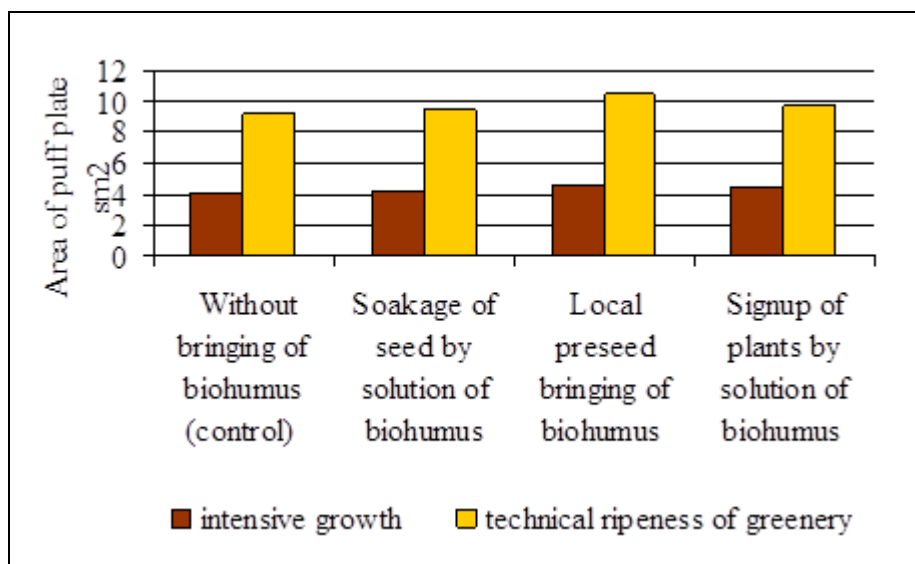


Fig. 5. Biometric indices of coriander depending on the application of biohumus (average for 2015–2016)

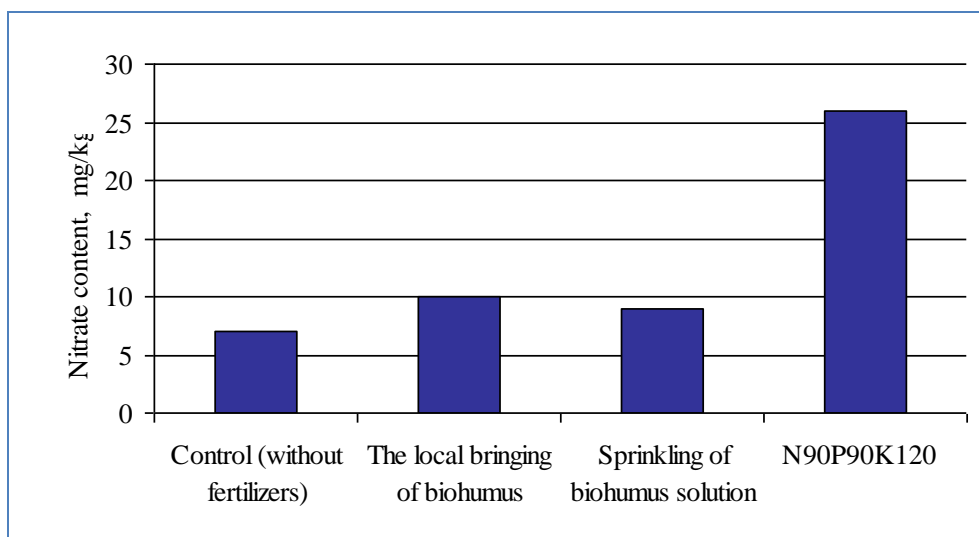


Fig. 6. Content of nitrates in tomatoes, mg/kg

done on the example of the model territory of Korobochkine Agricultural Enterprise in Chuguiv district of Kharkiv region made it possible to create a series of thematic maps of the most important morphometric indicators based on the digital model of the relief (Fig. 7), such as a hypsometric map, a map of slope expositions and on their basis maps of areas of surface runoff, erosion hazards, geochemical migration of elements and stability of landscapes.

Since the most important natural component of agricultural production is the soil, we add maps of granulometric composition, humus content, acidity, cation exchange capacity, etc. The peculiarity of agricultural landscapes is the almost complete lack of stationary sources of pollution but it is their functioning that causes the emergence of nature management conflicts. Therefore, the following map, which allows taking into account landscape features of ecological agricultural production, contains the

boundaries of anthropogenic landscapes, natural and anthropogenic sources of conflicts and zones of possible conflicts of nature management (Fig.7).

The map of conflicts in agricultural landscapes is complemented by a geochemical survey of the territory during which soils and agricultural products were sampled on test sites to determine the content of substances harmful to people and compare them with normative indicators. A continuous geochemical survey is not required in agricultural landscapes since the introduction of fertilizers, herbicides and pesticides is carried out in the same volumes within the entire fields or plots (Maksymenko 2017b).

At the stage of LEP “generalization and forecast of changes in accordance with the target concept of the use of the territory”, it is advisable to abandon a typical system of goals and adapt it to constraints imposed by ecologically balanced agricultural production. The main objective of optimizing nature management in agricultural landscapes at the present

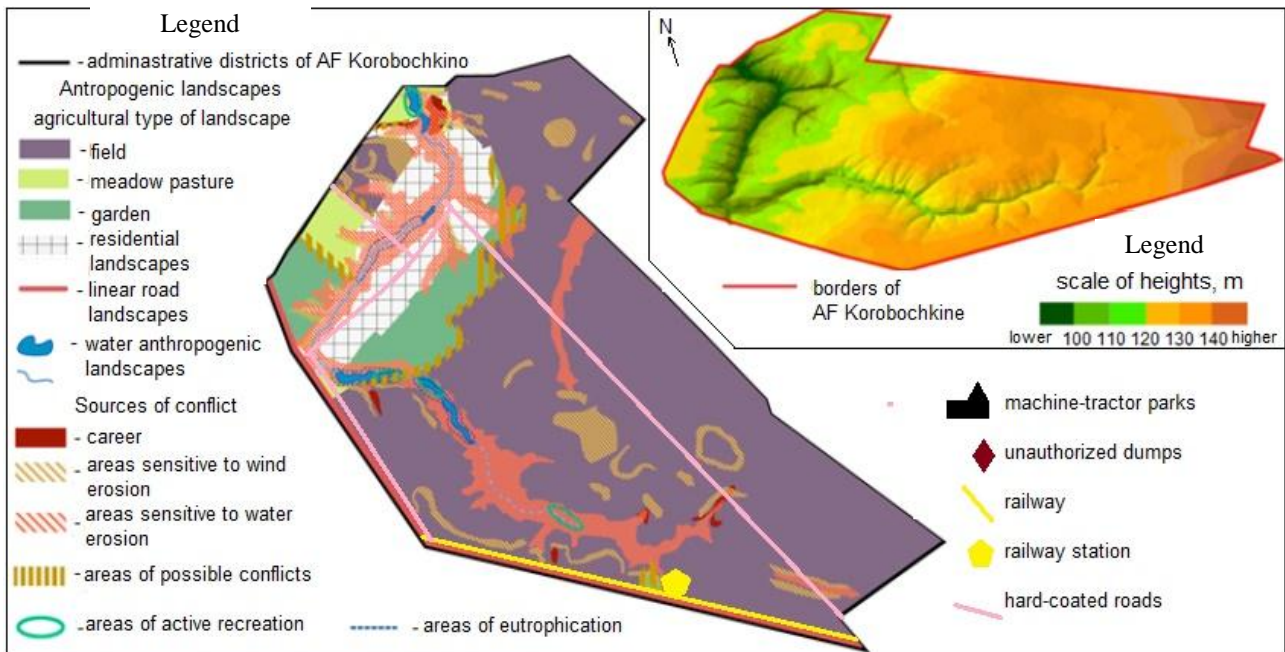


Fig. 7. Conflicts of nature management in AF Korobochkino's anthropogenic landscapes

time is to prevent their degradation which is to simplify the structure and degrade natural properties of the system adversely affecting the vulnerable components, such as soils, biota, surface and groundwater and causing a decrease in the productivity of agricultural ecosystems.

Discussion. Actually, the idea of the correspondence of a certain agricultural field to the natural landscape in which it develops (zoning level) is in the most famous works of V.V. Dokuchaev, M.I. Vavilov, A.S. Yermolov, O.V. Chayanov and O.M. Chelintsev. Taking into account the importance of such studies in the late 1960s, the International Geographical Union conducted a series of studies on the typology of world agriculture for the scientific substantiation of "Green Revolution" technologies.

In these works, the "statistical" and "spatial" basis was a peasant (farming) economy, since it is at the lowest level of the spatial organization of agricultural landscape. The peasant, his family, all the pets and agricultural lands harmonized into the ecosystem where balance of matter was "locked" into a certain natural landscape and whose stability (according to modern terminology) became the subject of inherited care from father to son. At the same time, the mechanism of ensuring such stability, except ownership of land, was the specialization of the peasant economy (Chayanov, 1989).

Since the lower spatial level in nature consists of the smallest units of a landscape organization, such as facies, sub district and district, one can speak of ecological conformity (or inconsistency) of the existing specialization. Considering the fact that these landscape units correspond to the same lowest level in the typology of natural ecosystems, it be-

comes clear that the size of the peasant's economy territory should not exceed 10 hectares. Actually, this is exactly the size corresponding to original units of the natural landscape organization and this is the very level of interaction between nature and man and the natural tolerant regulation of such interaction is possible.

The essence of the author's concept of ecologically friendly agriculture is as follows:

1. Untouched or weakly damaged natural landscapes are not only the key to effective and ecologically tolerant agriculture but also the balanced development of the entire state. According to calculations of reputable scientists, natural landscapes must occupy not less than 60% in each country. According to the Law of Ukraine "On the National Program for the Formation of the National Ecological Network of Ukraine in 2000-2015", "... a state close to the natural one has landscapes in the area of almost 12.7 percent of the territory of the country". Approaching 60% is a difficult, long and thorny path for which it is necessary to give the highest legal status to the main nature user at the low level of the landscape spatial organization that is the rural community.

2. The rebirth of the Ukrainian village suffering now from the demographic crisis is possible through land relations. Only a free person can work creatively on the land and optimistically look into the future, giving birth to children and bequeathing them their own land and everything that is on it. Here is the main essence and content of a small-scale peasant farm and farm settlement system where farms are analogues of human ecotypes. This system with a high degree of agricultural landscapes variability repeats the spatial structure of the biosphere and

most harmoniously fits into natural ecosystems. A relatively small area of the peasant economy (up to 10 hectares) gives responsible care for it, in particular, to provide fields of organic matter from its own livestock. Under such conditions, maintenance of natural fertility of soils is a matter of the peasant family, and the subject of inherited care and the “revival” of domestic livestock production is only a matter of time.

3. In order to revive agricultural, spiritual, cultural traditions and, consequently, demographic and environmental stability of rural Ukraine, it is proposed to reform land relations in the following areas:

- Considering that most rural families are forced to survive in present-day modern economic conditions from the land that is in use by the peasant family, one must agree that in the countryside of Ukraine a natural economy has already been formed which in general is not a tragedy but a “tip” determined by the course of events which should be used skillfully;

- Carrying out calculations of peasant families’ budgets to specify its size and the degree of merchantability of agricultural statistics (Sonko 2015a);

- According to the results of calculations, allocating production types (specialization) of peasant farms which will be the most objective, since it takes as much as possible the local natural and economic conditions;

- Implementing agricultural zoning of the territory of Ukraine based on the specialization of peasant farms, the study of land use in enterprises of different forms of ownership and data on the natural fertility of lands;

- In each agricultural area, dividing all lands in use into at least 3 groups:

1) Lands of peasant farms which should eventually be granted the right to live on property with the possibility of inheritance (not sale, at least in the first 20-40 years) and a nonprofit, natural economy should be supported. It is in such farms that there will be the greatest demand for the technology of ecological conversion;

2) Lands withdrawn from agricultural circulation due to the destruction of their natural fertility and those to be transferred to the nature reserve fund

and, eventually, included in the national ecological network;

3) Lands that have not lost its natural fertility yet and those that are in use by agricultural enterprises of different forms of ownership.

- An appropriate strategy for nature use should be developed for each of the listed groups of lands;

- The main condition of this strategy is diversification of existing agricultural use of land directed on decreasing intensity, in particular a significant reduction of soil-fueled crops in crop rotations, a return to fallow and crop rotation, an increase in land areas under pasture and hayfields as well as rural development of the newest forms of nature management (rural green farmsteads, tourist attractions, green tourism objects, etc).

Conclusions. The 25-year-old domestic experience of farming in market conditions has led to the conclusion that the above examples of ecologically tolerant methods of crop cultivation and livestock production can only be realized under the conditions:

- Confidence of land ownership with the proper support of farmers by the state;

- Prevalence of small and medium-size land holdings in the land use structure.

The experience of conducting an industrial typology of agriculture in the areas of Forest-Steppe zone of Ukraine shows that modern specialization is not only far from optimal but in many cases devastating for soils, in terms of compliance with natural conditions. Hence, the implementation of the agricultural typology with a subsequent assessment of the environmental impact of each type (Sonko, 2018a), first in Forest-Steppe, and, subsequently, throughout the territory of Ukraine can be analogous to the current “electronic declaration” and will help develop a strategy for environmentally sound management of agriculture. The developed technological methods of ecological conversion (vermiculture, biological dynamics, etc.) adapted to the conditions of Forest-Steppe Ukraine will help individual owners of peasant and farm enterprises to implement this strategy in practice.

Література

1. Almeida, C. *Typologies and Spatialization of Agricultural Production Systems in Rondônia, Brazil* / C. Almeida, M. Mourão, N. Dessay, A. E. Lacques, A. Monteiro, L. Durieux, A. Venturieri, F. Seyler // *Linking Land Use, Socioeconomics and Territorial Configuration*, 5(2), 2016. - 18 p. doi:10.3390/land5020018.
2. Altieri, M. A., Toledo, V. M. *The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 2011. – P. 587–612. doi: 10.1080/03066150.2011.582947.
3. Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S. G. *Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 2012. – P. 230–238. doi: 10.1016/j.tree.2012.10.012.
4. Bulgakov, D. S., Rukhovich, D. I., Shishkonakova, E. *The Application of Soil-Agroclimatic Index for Assessing the Agronomic Potential of Arable Lands in the Forest-Steppe Zone of Russia. Eurasian Soil Science*, 51, 2018. – 448 p. <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>.

5. Bürgi, M., Bieling, C., von Hackwitz, K. Processes and driving forces in changing cultural landscapes across Europe. *Landscape Ecology*, 32, 2017. – P. 2097. doi.org/10.1007/s10980-017-0513-z.
6. Caron, P., Biéname, E., Hainzelin, E. Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 2014. – P. 44–52. doi: 10.1016/j.cosust.2014.08.004.
7. Chattopadhyay, G. N. Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1, 2012. – 8 p. doi: 10.1186/2251-7715-1-8.
8. Чаянов, А. В. Крестьянское хозяйство: избранные труды. / А. В. Чаянов. - Москва : Экономика. 1989 – 492 с.
9. Douglas, A. Landis Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 2017. P. 1–12. doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005
10. Erhart, E., Hartl, W. Soil Protection Through Organic Farming: A Review, in: *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*, Lichtfouse, E. (Eds.) *Sustainable Agriculture Reviews*, 1, 2009. - P. 1-3. doi: 10.1007/978-1-4020-9654-9_11.
11. Solutions for a cultivated planet. / J. A. Foley, N. Ramankutty, K. A. Brauman. – *Nature*, 2011. – P. 337–342. doi: 10.1038/nature10452.
12. Frank, S., Schmid, F., Havlík, P. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*, 35, 2015. P. 269–278. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.08.004.
13. Господаренко, Г. Н. Содержание гумуса в черноземе оподзоленном после длительного применения удобрений в полевом севообороте / Г. Н. Господаренко, И. В. Прокопчук, // *Почвоведение и агрохимия*, 2(55), 2015. – С. 102–107.
14. Gracz, W. Analysis of the Potential of Methane Emission and Energy Power from Excrement of Livestock in Poland / W Gracz, W. Golimowski, K. Butlewski. In: *Mudryk, K., Werle, S. (eds) Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Springer Proceedings in Energy*. 2018. – P. 139-149 . doi.org/10.1007/978-3-319-72371-6_14.
15. Kiryushin, V. I. (2018). *Ecological Functions of Landscapes. Eurasian Soil Science*. 51, 14. <https://doi.org/10.1134/S106422931801009X>.
16. Kostrovickij, E. Basic principles and methods of typology of world agroindustry, *Известия АН СССР. Серия Географическая*, 6, 1970. – P. 162–168.
17. Баланс елементів живлення і гумусу в землеробстві Черкаської області за 2008 рік. / Ю. І.Кривда, В. Г. Демиденко, Н. М. Терещенко. - Холодніянське, 2009.
18. Lun, F. Estimating cropland carbon mitigation potentials in China affected by three improved cropland practices. / F. Lun, J. G Canadell, L. He // *Journal of Mountain Science*, 13(10), 2016. – P. 1840–1854. doi: 10.1007/s11629-015-3813-2.
19. Maksymenko, N., Soils Assessment in Natural and Anthropogenic Landscapes for Environmental. / N. Maksymenko, A. Kleshch, G. Titenko, A. Shumilova, N. Cherkashyna // *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3, 6. - 2017. – P. 776–781.
20. Максименко, Н. В. Напрямки оптимізації природокористування в інвайронментальному менеджменті територій локального рівня організації довкілля. // Н. В. Максименко // *Bulletin of the University of Dnipro, Geology, geography*, 25(2), 2017. – С. 81–88. doi: 10.15421/111722.
21. Медведев, В. В. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства / В. В. Медведев, В. В. Лісовий, Харків: ШТріх. - 2001.- 100 с.
22. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared / B. Phalan, M. Onial, A. Balmford, R. E. Green // *Science*, 333(6047), 2011. – P. 1289–1291. doi: 10.1126/science.1208742.
23. Rutz, D. Socio-Economic Impacts of Sweet Sorghum Value Chains in Temperate and Tropical Regions / D. Rutz, R. Janssen, C. Khawaja // in: *Socio-Economic Impacts of Bioenergy Production*. 2014. – 290 p. doi: 10.1007/978-3-319-0ю829-2_7.
24. Semenov, V. M. Humification and nonhumification pathways of the organic matter stabilization in soil: A review. / V. M. Semenov, A. S. Tulina, N. A Semenova. *Eurasian Soil Science*, 46, 2013. - 355 p. doi: 10.1134/S106422931304011X.
25. Sonko, S. P. Express assessment of environmental impact of agriculture technologies on the soils of Cherkasy Oblast. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 2018. – С. 451–459. doi:10.15421/2017_235.
26. Сонько, С. П. Сільськогосподарське районування Харківської області: географічна проблема – екологічні наслідки / *Bulletin of the University of Dnipro. Geology, geography*, 26(1), 2018. – С. 165–176. doi: 10.15421/111818.
27. Tripathi, G., Bhardwaj, P. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*, 92, 2004. – P. 275–278. doi: 10.1186/2251-7715-1-15.
28. Зеркалов, І. І. Енергозбереження в Україні. Київ : Основа. 2012. - 582 с.
29. Zhang, X., Zhu, A., Yang, W. Relationships between soil macroaggregation and humic carbon in a sandy loam soil following conservation tillage // *Journal of Soils and Sediments*, 18 (3). 2018. P. 688-696. doi.org/10.1007/s11368-017-1809-y.

30. *Sustainable Land Use and Agricultural Soil* / V. H. D. Zuazo, C. R. R. Pleguezuelo, D. Flanagan. in: Lichtfouse, E. (Eds) *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation, Sustainable Agriculture Reviews*, 6. 2011. - P. 107-192. doi: 10.1007/978-94-007-0186-1_5.

*Всі автори брали участь у виконанні НДР «Моделювання і прогнозування змін природних і природно-антропогенних комплексів для цілей ландшафтного планування», № державної реєстрації 0112U007571

UDC: 502.52(292.485):631.153.3(477)

Sergiy Sonko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Department of ecology and safety of vital functions, Uman National University of Horticulture,
Instytutska str., 1, Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine,
e-mail: sp.sonko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>;

Nadiya Maksymenko,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Monitoring and Nature Management,
V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody sq., 6, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: nadezdav08@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>;

Vilina Peresadko,

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Department of Physical Geography and Cartography, V. N. Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: vilinaperesadko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

Iryna Sukhanova,

PhD (Biology), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: sukhanoffaira@gmail.com,

Olga Vasylenko,

PhD (Agrarian Sciences), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: vsolga05@gmail.com,

Olga Nikitina,

PhD (Agrarian Sciences), Associate Professor, Department of ecology and safety of vital functions,
Uman National University of Horticulture, e-mail: sp.sonko@gmail.com

CONCEPT OF ENVIRONMENTALLY PROTECTIVE FARMING FOR THE FOREST-STEPPE ZONE

Formulation of the problem. Taking into account that agriculture is the branch closest to natural landscapes on the type of material-energy relations, the main task of agroecology is search of management forms (specialization) that would not exceed natural capacity of a specific territory. The best management of the nature use at the agro-landscape level can be implemented only in case of complete confidence in the land property, as well as in the presence of small areas from farmers that would correspond to the grassroots levels of the landscape structure. It is under this condition that the farmer can be taken care of with the support of the natural fertility of the land. In addition, the determined ownership of land (not lease) will force the peasant to form specialization in order to work as self-sustaining as possible. Under such conditions, the revival of domestic livestock, as a guarantee of the maintenance of natural fertility of soils is just a matter of time.

The purpose of the article. To develop the concept of environmentally protective farming for the forest-steppe zone.

Methods. Approbation of the theoretical foundations of the proposed Concept allowed to develop a harmonious methodology: at the first stage, numerous methods of environmental monitoring of various components in the agricultural landscape are used, such as methods of biological indication of pesticide residues in soils, instrumental and laboratory methods for evaluating environmental parameters, express estimation of environmental impacts on soils of separate branches of agriculture, GIS-modeling of agricultural typology and landscape - ecological planning; at the second stage, comprehensive methods on vermiculture study, ecological and biological technologies of agricultural crops cultivation have been developed, as well as biody-

dynamic technologies in growing crops and methods of assessing the impact of food industry enterprises on the state of the environment.

Results. The authors' concept, adapted to the conditions of the UA forest-steppe area, consists of serial blocks of research: "Ecological monitoring of agro-landscape components "; "Ecological conversion of agro-landscapes"; "Landscape-ecological planning". The main goal of this Concept is not to focus on large agro-holdings, but on farmer farmers.

The experience of conducting an industrial typology of agriculture in the regions of the UA forest-steppe zone suggests that modern specialization is not only far from optimal in terms of compliance with natural conditions but also in many cases is devastating to soils. Therefore, the assessment of the environmental impact of each type of agriculture, first in the forest-steppe, and, subsequently, throughout the territory of Ukraine, can be analogous to the modern "electronic declaration" and will help develop a strategy for environmentally sound management of agriculture. The developed technological methods of ecological conversion (vermiculture, biodynamics, etc.) are adapted to the conditions of the forest-steppe of Ukraine, and will help owners of peasant and farm enterprises implement this strategy in practice.

Keywords: agro-landscape, typology of agriculture, conversion, ecologically tolerant farming, landscape-ecological planning.

References

1. Almeida, C., Mourão, M., Dessay N., Lacques, A. E., Monteiro, A., Durieux, L., Venturieri, A., Seyler, F. (2016). *Typologies and Spatialization of Agricultural Production Systems in Rondônia, Brazil: Linking Land Use, Socioeconomics and Territorial Configuration*, 5(2), 18. doi:10.3390/land5020018.
2. Altieri, M. A., Toledo, V. M. (2011). *The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612. doi: 10.1080/03066150.2011.582947.
3. Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S. G. (2012). *Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 230–238. doi: 10.1016/j.tree.2012.10.012.
4. Bulgakov, D. S., Rukhovich, D. I., Shishkonakova, E. (2018). *The Application of Soil-Agroclimatic Index for Assessing the Agronomic Potential of Arable Lands in the Forest-Steppe Zone of Russia. Eurasian Soil Science*, 51, 448. doi.org/10.1134/S1064229318040038.
5. Bürgi, M., Bieling, C., von Hackwitz, K. (2017). *Processes and driving forces in changing cultural landscapes across Europe. Landscape Ecology*, 32, 2097. doi.org/10.1007/s10980-017-0513-z.
6. Caron, P., Biénabe, E., Hainzelin, E. (2014). *Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge. Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 44–52. doi: 10.1016/j.cosust.2014.08.004.
7. Chattopadhyay, G. N. (2012). *Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1, 8. doi: 10.1186/2251-7715-1-8.
8. Chayanov, A. V. (1989). *Peasant Farm: Selected Works, Moscow, Economics [in Russian]*.
9. Douglas, A. (2017). *Landis Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. Basic and Applied Ecology*, 18, 1–12. doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005
10. Erhart, E., Hartl, W. (2009). *Soil Protection Through Organic Farming: A Review*, in: *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*, Lichtfouse, E. (Eds.) *Sustainable Agriculture Reviews*, 1. doi: 10.1007/978-1-4020-9654-9_11.
11. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D. P. (2011). *Solutions for a cultivated planet. Nature*, 478, 337–342. doi: 10.1038/nature10452.
12. Frank, S., Schmid, F., Havlik, P. (2015). *The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. Global Environmental Change*, 35, 269–278. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.08.004.
13. Gospodarenko, G. N., Prokopchuk, I. V. (2015). *Humus content in chernozem after prolonged use of fertilizers in field crop rotation. Soil science and agrochemicals*, 2 (55), 102–107 (in Russian).
14. Gracz, W., Golimowski, W., Butlewski, K., Marcinkowski, D. (2018). *Analysis of the Potential of Methane Emission and Energy Power from Excrement of Livestock in Poland. In: Mudryk, K., Werle, S. (eds) Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Springer Proceedings in Energy*. doi.org/10.1007/978-3-319-72371-6_14.
15. Kiryushin, V. I. (2018). *Ecological Functions of Landscapes. Eurasian Soil Science*. 51, 14. doi: 10.1134/S106422931801009X.
16. Kostrovickij, E. (1970). *Basic principles and methods of typology of world agroindustry, Izvestija AN SSSR. Serija geograficheskaja*, 6, 162–168.
17. Kryvda, Yu. I., Demidenko, V. G., Tereshchenko, N. M., Kovalenko, T. V., Kalinichenko, O. M., Ivasikov, L. P., Shaptalenko, A. P. (2009). *Balance of nutrients and humus elements in Cherkassy region agriculture in 2008, Kholodnianske, Ukraine [in Ukrainian]*.

18. Lun, F., Canadell, J. G., He, L. (2016). Estimating cropland carbon mitigation potentials in China affected by three improved cropland practices. *Journal of Mountain Science*, 13(10), 1840–1854. doi.org/10.1007/s11629-015-3813-2.
19. Maksymenko, N., Kleshch, A., Titenko, G., Shumilova, A., Cherkashyna, N. (2017 b). Soils Assessment in Natural and Anthropogenic Landscapes for Environmental. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3, 6, 776–781.
20. Maksymenko, N. (2017 a). Napriamky optymizatsii pryrodokorystuvannia v invaironmentalnomu menedzhmenti terytorii lokalnoho rivnia orhanizatsii dovkillia [Directions of optimization of nature management in the invariable management of territories of the local level of environmental organization]. *Bulletin of the University of Dnipro, Geology, geography*, 25(2), 81–88. doi: 10.15421/111722.
21. Medvedev, V. V., Lisovy, V. V. (2001). State of soil fertility in Ukraine and forecast of its changes in modern agriculture, Strih, Kharkiv [in Ukrainian].
22. Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., Green, R. E. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289–1291. doi: 10.1126/science.1208742.
23. Rutz, D., Janssen, R., Khawaja, C. (2014). Socio-Economic Impacts of Sweet Sorghum Value Chains in Temperate and Tropical Regions, in: *Socio-Economic Impacts of Bioenergy Production*. DOI: 10.1007/978-3-319-0ю829-2_7.
24. Semenov, V. M., Tulina, A. S., Semenova, N. A. (2013). Humification and nonhumification pathways of the organic matter stabilization in soil: A review. *Eurasian Soil Science*, 46, 355. doi.org/10.1134/S106422931304011X.
25. Sonko, S. P. (2018 a). Express assessment of environmental impact of agriculture technologies on the soils of Cherkasy Oblast. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 451–459. doi:10.15421/2017_235.
26. Son'ko, S. P. (2018 b). Silskohospodarske raionuvannia Kharkivskoi oblasti heohrafichna problema – ekolohichni naslidky [Geographical regionalization of the Kharkiv region is a geographical problem – the environmental consequences]. *Bulletin of the University of Dnipro. Geology, geography*, 26(1), 165–176. doi: 10.15421/111818.
27. Tripathi, G., Bhardwaj, P. (2004). Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*, 92, 275–278. doi: 10.1186/2251-7715-1-15.
28. Zerkalov, D. V. (2012). Energy saving in Ukraine. *Osnova*, Kyiv. ISBN 978-966-699-655-1 (in Ukrainian).
29. Zhang, X., Zhu, A., Yang, W. (2018). Relationships between soil macroaggregation and humic carbon in a sandy loam soil following conservation tillage. *Journal of Soils and Sediments*, 18: 688. doi.org/10.1007/s11368-017-1809-y.
30. Zuazo, V. H. D., Pleguezuelo, C. R. R., Flanagan, D., Tejero, I. G., Fernández, J. L. M. (2011). Sustainable Land Use and Agricultural Soil, in: Lichtfouse, E. (Eds) *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation, Sustainable Agriculture Reviews*, 6. doi: 10.1007/978-94-007-0186-1_5.

УДК 556.3:551.435.82

Валерій Васильович Сухов,

к. геол. н., ст. викладач, кафедра гідрогеології,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: donsanchos77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>;

Василь Григорович Суярко,

д. г.-м. н., професор, кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

e-mail: vgsuyarko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

Костянтин Аркадійович Немець,

д. геогр. н., професор, соціально-економічної географії та регіонаознавства,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

e-mail: konnem1948@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

Андрій В'ячеславович Матвеев,

д. геол. н., доцент, зав. кафедри геології,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

e-mail: mathwey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2600-6529>

ГІДРОГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У КАРБОНАТНИХ ПОРОДАХ. ЧАСТИНА II. КАРСТ І ЙОГО ВПЛИВ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

В процесі фільтрації підземні води, контактуючи з мінеральною речовиною гірських порід, розчиняють їх або вилугуюють з них окремі компоненти та сполуки. Геодинамічним наслідком такої хімічної діяльності підземних вод у карбонатних породах є карст, що спричиняє їх руйнування з утворенням рідинного стоку. В залежності від часу утворення, глибини карстових порожнин та морфологічних ознак, карст може бути молодим і древнім, відкритим та закритим, ерозійним і змішаним, а також при поверхневим (епікарст) та глибоким (гіпокарст).

Підземні води відіграють виняткову роль у хімічному перетворенні карбонатних порід. Геохімічна робота підземних вод складається з вилугування і розчинення та виносу з них мінеральної речовини. Схематично карстоутворення можна розбити на три послідовних стадії: 1) надходження розчинника (води) до породи; 2) вилугування і розчинення твердої речовини (фазового переходу) та 3) видалення фільтраційними потоками підземних вод продуктів реакцій від поверхні денудації. У природних умовах параметри системи «порода-вода», в межах якої відбуваються процеси карстоутворення, мають квазістабільний характер, а розчинення мінеральної речовини у підземних водах визначається, головним чином, величиною градієнта концентрації між рідинною фазою (водою) та шаром насиченого розчину, що утворюється на її контакті з карбонатною речовиною порід. Головним чинником процесу карстоутворення у карбонатних породах є двооксид вуглецю (CO₂), що присутній у воді як у вільній, так і в розчинній формах. Інфільтраційні та підземні води, що вміщуються у карстових колекторах, постійно розчинюють та переносять речовину карбонатних порід. Це призводить до постійного збільшення розмірів карстових порожнин, що, у свою чергу, є суттєвим фактором збільшення інтенсивності гідрогеодинамічних процесів у підземній гідросфері. Техногенний карст формується в умовах антропогенного впливу на геологічне середовище. Найчастіше причиною цього є забруднення поверхневих, а через них і підземних вод.

Ключові слова: гідро геодинамічні процеси, карбонатні породи, карст, підземні води, карстові форми, йонний обмін, розчинення, вилугування.

В.В. Сухов, В.Г. Суярко, К.А. Немец, А.В. Матвеев. ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ. ЧАСТЬ II. КАРСТ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ. В процессе фильтрации подземные воды, контактируя с минеральным веществом горных пород, растворяют их или выщелачивают из них отдельные компоненты и соединения. Геодинамическим последствием такой химической деятельности подземных вод в карбонатных породах является карст, что приводит к их разрушению с образованием жидкого стока. В зависимости от времени образования, глубины карстовых полостей и морфологических признаков, карст может быть молодым и старым, открытым и закрытым, эрозийным и смешанным, а также приповерхностным (эпикарст) и глубоким (гипокарст).

Подземные воды играют исключительную роль в химическом преобразовании карбонатных пород. Геохимическая работа подземных вод состоит в выщелачивании, растворении и выносе из них минеральных веществ. Схематично карстообразование можно разбить на три последовательных стадии: 1) поступление растворителя (воды) к породе; 2) выщелачивание и растворение твердого вещества (фазового перехода) и 3) удаление фильтрационными потоками подземных вод продуктов реакций от поверхности денудации. В естественных условиях параметры системы «порода-вода», в рамках которой происходят процессы карстообразования, имеют квазістабільний характер, а растворение минеральных веществ в подземных водах определяется, главным образом, величиной градиента концентрации между жидкостной фазой (водой) и слоем насыщенного раствора, образующегося на её контакте с карбонатным веществом пород. Главным фактором процесса карстообразования в карбонатных породах является двуокись углерода (CO₂), присутствующая в воде как в свободной, так и в растворённой форме. Инфильтрационные и подземные воды, находящиеся в карстовых коллекторах, постоянно растворяют и переносят вещество карбонатных пород. Это приводит к постоянному увеличению размеров карстовых полостей, что, в свою очередь, является существенным фактором увеличения интенсивности гидрогеодинамических процессов в подземной гидросфере. Техногенный карст формируется в условиях антропогенного воздействия на геологическую среду. Чаще всего причиной этого является загрязнение поверхностных, а через них и подземных вод.

Ключевые слова: гидрогеодинамические процессы, карбонатные породы, карст, подземные воды, карстовые формы, ионный обмен, растворение, выщелачивание.

Постановка проблеми. Карст – один з двох найважливіших гідрогеодинамічних процесів у карбонатних породах, пов'язаний з процесами їх вилуговування та розчинення підземними водами. Карстові процеси не лише спричиняють хімічне та фізичне руйнування гірських порід, а й визначають інтенсивність міграції і концентрації хімічних елементів і сполук у водних розчинах та значною мірою впливають на формування хімічного складу підземних вод. У статті подано основні фактори розвитку карбонатного карсту, описано процеси, що відбуваються у крейдяних породах верхньої крейди у зв'язку з карстоутворенням. Розв'язання проблеми карбонатного карсту дозволяє вирішити теоретичні та практичні задачі: обрахування на основі хімічної термодинаміки енергії карстоутворення, визначення спрямованості та інтенсивності розвитку карсту, вплив карбонатного карсту на рельєф з утворенням його специфічних «карстових форм»; обрахування природних геологічних ризиків, пов'язаних з карстовими процесами, для будівель та споруд. Розв'язанням цих задач визначається *актуальність* публікації.

Предмет дослідження – геодинамічні процеси у карбонатних породах.

Об'єкт дослідження – розвиток карсту у крейдяних породах верхньої крейди.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій на дану тематику наведено у першій частині статті [20].

Виклад основного матеріалу. Хімічна діяльність підземних вод у природному геологічному середовищі відбувається завдяки хімічним реакціям у складній фізико-хімічній системі «порода-вода-газ». Серед них у карбонатних породах провідну роль відіграють вилуговування та розчинення. Ці процеси якнайкраще можуть бути описані законами хімічної термодинаміки, котрі дозволяють обґрунтувати як існування взаємозв'язку між самими реакціями, так і визначити кількість енергії, що витрачається на них. Це дає змогу встановлювати не лише спрямованість фізико-хімічних перетворень, а й визначити їхні результати у певних геологічних, гідрогеологічних та геохімічних умовах. Серед результатів хімічної діяльності підземних вод: 1) фізико-хімічне руйнування та утворення мінералів і порід; 2) міграція та концентрація хімічних елементів та їхніх сполук у розчинах; 3) формування хімічного складу підземних вод.

В процесі фільтрації підземні води постійно контактують з мінеральною речовиною гірських порід (а у разі наявності – і з різними будівельними матеріалами). Причому у такому випадку формується фізико-хімічна система, що складається з трьох фаз – твердої, рідинної та газовою.

Тверда фаза переважно представлена мінеральною речовиною гірських порід, рідинна – підземними водами, а газова – бульбашками вільних газів (O_2 , CO_2 , NO_2 , H_2S та ін.), що присутні у водяному розчині [3]. Ця система, взаємини якої з оточуючим геологічним середовищем носять відкритий характер, є урівноваженою і визначається такими параметрами як температура, тиск, хімічний склад, концентрації компонентів та багатьма іншими. Відкритість системи означає, що швидкості прямої і зворотної реакцій між її хімічними компонентами є практично однаковими: $A+B=C+D$ [24]. У цьому випадку градієнти концентрацій речовин у системі практично відсутні, а сама вона знаходиться у метастабільному стані. Зі зміною фізико-хімічних параметрів середовища або концентрацій реагуючих компонентів процеси взаємодії між компонентами стають незворотними. Сама система втрачає енергетичну рівновагу, а, відповідно і стабільність. Це призводить до зміни фізико-хімічних параметрів підземних вод і гірських порід і породжує явище масоперенесення, внаслідок якого хімічні елементи можуть переходити з однієї фази системи у іншу, намагаючись привести усю її до рівноваги з геологічним середовищем [11].

Оскільки і підземні води, і гірські породи знаходяться у однакових температурно-барометричних умовах, при побудові теоретичних моделей процесів масоперенесення у конкретних гідролітичних системах можуть враховуватися лише градієнти концентрацій (хімічного потенціалу) окремих хімічних компонентів, що знаходяться у них. Виходячи з цього, у різнофазовій (гетерогенній) системі невимушений міжфазовий перехід певного хімічного компонента може відбуватися лише із фази з більшим – до фази з меншим вмістом хімічного елементу чи сполуки. Такий перехід супроводжується зменшенням концентрації (хімічного потенціалу) речовини у першій фазі і його збільшенням у другій. Це відбувається доти, доки різниця між потенціалами не зменшиться до нуля. З досягненням цього значення настає міжфазова хімічна рівновага, а потенціали компонентів у системі вцілому вирівнюються [7]. За умови, що різниця концентрацій між різними компонентами (потенціалами концентрацій) є більшою за нульове значення, у системі «вода–порода», що досліджується, процеси масоперенесення відбуваються практично безперервно, що впливає на усі її складові [24].

У карбонатно-водяних системах важливу роль відіграють і такі процеси як сорбція та йонний обмін. Сорбція є процесом вибіркового поглинання рідинних і газоподібних речовин твердою фазою та сприяє проникненню різних за хі-

мічним складом водяних розчинів у породи. При цьому розрізняють адсорбцію – процес зміни концентрації молекул або йонів речовини у приповерхневому шарі адсорбенту. Адсорбція буває хімічна та фізична. Хімічна, як правило, є незворотною, при ній молекули адсорбованих речовин взаємодіють з контактуючою поверхнею адсорбенту. Фізичну адсорбцію зазвичай називають простою, вона є зворотною і закінчується лише у разі встановлення адсорбційної рівноваги, тобто рівності прямого і зворотного процесу. Адсорбція обумовлена вільною енергією поверхні сорбенту і залежить від структури, дисперсності, пористості та температури поверхні. Абсорбція – поглинання речовини усім об'ємом твердого тіла або рідини. Зумовлена вона силами ван-дер-Ваальса або електростатичними, за рахунок притягання абсорбату до всієї товщі абсорбенту.

У процесі сорбції концентрації речовин у зоні контакту двох суміжних фаз стають більшими за концентрації всередині їх. Основною причиною сорбції є фізико-хімічні процеси, що протікають на межі двох фаз. Їх інтенсивність є прямо пропорційною площі взаємодії різнофазових компонентів. Такий процес носить назву іонного обміну і є вільним обміном речовиною між твердою фазою і водяним розчином. Швидкість іонообмінних процесів знаходиться у прямій залежності від швидкості фільтрації підземних вод. Таким чином, у природних геологічних умовах хімічна взаємодія підземних вод з мінеральною речовиною, яка призводить до процесу карстоутворення, визначається їх фізико-хімічними властивостями.

Карст – геодинамічний наслідок геологічної діяльності підземних вод, що проявляється у розчиненні та вилугуванні гірських порід з формуванням рідинного стоку. Для розвитку карсту необхідні такі фізичні умови: а) значна товщина порід, що карстуються та б) низькій рівень підземних вод [1,23].

В залежності від глибини карстових порожнин карст за часом утворення поділяється на *молодий* та *древній*. За розвитком покривних відкладів на породах, що карстуються, розрізняють карст *відкритий* (без ґрунтово-рослинного покриву) та *закритий* (перекритий молодшими за віком утвореннями). Формування та розвиток закритого карсту відбувається майже виключно завдяки дії підземних вод, що вміщуються у водоносному горизонті в породах якого спостерігається карстоутворення. Натомість відкритий карст утворюється за участі як підземних, так і інфільтраційних вод [27].

Хоча найхарактернішими для розвитку карстових процесів є низинні форми рельєфу, карст може утворюватися і на височинах. Прикладом

останнього є і «крейдяна брила», на якій знаходиться Святогірський монастир [19]. Розрізняють *ерозійний* та *змішаний* карст. За морфологічними ознаками виділяються такі його форми: а) приповерхневий – *епікарст* (карри, понори, воронки, улоговини, а також долини – сухі, сліпі, мішкоподібні) та б) глибокий – *гіпокарст* (шахти, колодязі, галереї, печери та ін.). Завдяки від'ємним тектонічним рухам карстові порожнини інколи занурюються на глибини у сотні метрів, як наприклад, ущелина Жан-Бернар (Франція), що сягає глибини 1410 м [1,26,27].

Карстові форми, що перекриті молодими породами, наповнюючись водою та осадами, перетворюються у *закритий* або *древній* карст.

На основі багаторічних періодичних замірів (моніторингу) величини мінералізації сульфатно-гідрокарбонатних кальцієвих вод в одному з джерел, що розвантажуються у підніжжі «крейдяної скелі» у р. Сіверський Донець, нами було встановлено сезонні зміни мінералізації підземних вод. Весною і восени мінералізація вод знижувалася до 1,0-1,5 г/дм³, а у водах переважав йон гідроксилу (НСО₃⁻). В той же час влітку при зменшенні дебіту джерела з 1,5-2,0 л/с до 0,5-0,75 л/с у воді суттєво збільшувався вміст йону Са²⁺ та підвищувалася її мінералізація (до 2,0-5,0 г/дм³). Це, вірогідно, є наслідком процесу міграції флюїдів у мергельно-крейдяної товщі, наслідком якої є утворенням сучасного карбонатного карсту [19,26].

Приповерхнева зона формування епікарсту характеризується специфічними гідрогеологічними особливостями завдяки пористості та тріщинуватості і, відповідно, проникненості порід, що карстуються. Зона епікарсту, у якій містяться певні динамічні запаси підземних вод, виконує роль живлячої (гідрогеологічно), реакційної (геохімічно) та рельєфоутворюючої (геоморфологічно) приповерхневої зони літосфери [8].

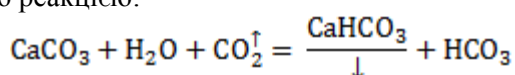
У верхній частині епікарстової зони інфільтраційні водянні потоки є агресивними до карбонатних порід за рахунок присутності атмосферного СО₂. Внаслідок цього тут спостерігаються процеси розчинення мінеральної (карбонатної) речовини, що обумовлює збільшення пористості та проникності порід. Саме тому близько 70% карстової денудації відбувається у 10-метровому інтервалі глибин епікарстової зони. Внаслідок цього в ній спостерігається і найбільша водонасиченість вивітрилих порід. Під зоною вивітрування залягають породи «вадозної зони», пористість і проникність яких є набагато нижчою [23].

В межах виходів нижньокрейдяних порід на правому березі р. Сіверський Донець як в районі монастиря, так і вище за течією – у с. Богородичне, границя ґрунтово-рослинного покриву і епі-

карстової зони є нерівномірною. Ґрунтовий матеріал лише фрагментарно покриває крейдові породи і часто проникає у відкриті порожнини та тріщини масиву, що карстуються. Така картина типова для багатьох областей розвитку карбонатного епікарсту [5,8,12].

Товщина та конфігурація епікарстової зони у карбонатних породах залежить від різних геологічних, гідрогеологічних, геохімічних та геоморфологічних факторів. Пористість гірських порід у її межах часто складає від 2 до 30% [8].

Підземні води відіграють виняткову роль у хімічному перетворенні карбонатних порід. Геохімічна робота підземних вод складається з вилуговування і розчинення та виносу з них мінеральної речовини. Схематично карстоутворення можна розбити на три послідовних стадії: 1) надходження розчинника (води) до породи; 2) вилуговування і розчинення твердої речовини (фазового переходу) та 3) видалення фільтраційними потоками підземних вод продуктів реакцій від поверхні денудації. У природних умовах параметри системи «порода-вода», в межах якої відбуваються процеси карстоутворення, мають квазістабільний характер, а розчинення мінеральної речовини у підземних водах визначається, головним чином, величиною градієнта концентрації між рідинною фазою (водою) та шаром насиченого розчину, що утворюється на її контакт з карбонатною речовиною порід. Головним чинником процесу карстоутворення у карбонатних породах є двооксид вуглецю (CO₂), що присутній у воді як у вільній, так і в розчинній формах. Процес хімічної взаємодії води з карбонатною породою у присутності CO₂ відбувається за відомою реакцією:



Як надходження в систему «порода-вода» розчинника (підземних вод), так і відведення розчинної речовини обумовлюється, переважно, конвективною дифузією, яка за короткий час здатна перерозподілити значні маси речовини. У випадку розчинення або вилуговування поверхні карбонатної гірської породи кількість речовини (Q), що переходить у розчин, визначається рівнянням [16]:

$$Q = alC_k \sqrt{\frac{4D_v V}{\pi l}}, \text{ де:}$$

a та *l* – відповідно ширина і довжина пласта порід, що карстуються;

C_k – градієнт концентрації;

D_v – коефіцієнт конвективної дифузії;

V – швидкість руху підземних вод.

Швидкість розчинення гірської породи є пропорційною квадратному кореню швидкості руху підземних вод. З цього витікає, що інтенсив-

ність розвитку карсту цілком залежить від швидкості фільтрації підземних вод [13].

Карст найінтенсивніше розвивається на ділянках надходження у карбонатні породи агресивних (по відношенню до карбонатів) вод та газів. Ці ділянки часто просторово співпадають з осередками висхідного розвантаження глибинних флюїдів (лужні води, двооксид вуглецю та ін.). Такі ділянки, як правило, приурочені до тектонічно активних розривних порушень з якими пов'язані зони розущільнення (тріщинуватості) у гірських породах [18].

Формування підземних вод у карстових колекторах верхньокрейдових карбонатних порід Святогірської структури супроводжується і інтенсивним поглинанням інфільтраційних та поверхневих вод. Це пов'язано тут з підвищеною проникністю гірських порід у зоні аерації. У карстових масивах поверхневі води дуже швидко просмоктуються по капілярах та тріщинах у водоносні горизонти, перетворюючись у підземні, що призводить до частого порушення хімічних рівноваг у системі «порода-вода», і як наслідок – інтенсивного руйнування порід-колекторів [2].

За хімічним складом підземні води зони інфільтрації території досліджень є переважно гідрокарбонатними змішаного катіонного складу. Важливим чинником карбонатного карсту є наявність двооксиду вуглецю у підземних водах, який здебільшого знаходиться в них у концентраціях до 10,0-30,0 мг/дм³. Але в місцях де породи розбиті тектонічними тріщинами, вміст CO₂ у воді дуже часто набагато перевищує ці значення, досягаючи 100,0 мг/дм³ і більше, що може пояснюватися лише підтоком двооксиду вуглецю з глибоких горизонтів палеозою [18,19]. Слід зазначити, що саме з такими ділянками і пов'язані процеси інтенсивного розвитку карсту в межах «крейдової брили».

У районах відкритого карсту існує специфічна гідродинамічна зональність (рис. 1). Згори донизу виділяються: а) зона живлення (ґрунтовий покрив та епікарст), де відбуваються акумуляція інфільтраційних вод; б) вадозна зона, живлення якої здійснюється за рахунок інфільтраційних вод та в) фреатична зона, у якій тріщино-порожнинне середовище повністю заповнено підземними водами, що рухаються у напрямку зменшення градієнта тиску [8,23]. Зона живлення (до глибини 5,0-10,0 м) зазвичай включає ґрунтовий покрив та епікарстову підзону. Вадозна зона, що може мати товщину від декількох до тисячі метрів, характеризується вільним гравітаційним рухом підземних вод від зони розвитку епікарсту до фреатичної зони. Окрім того, у регіонах з континентальним кліматом може бути виділена й підзона сезонних коливань рівнів підземних вод, жив-

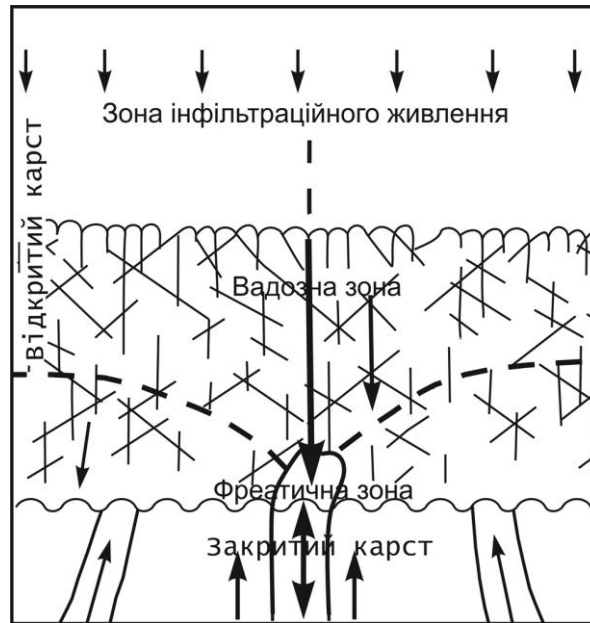


Рис. 1. Схема гідродинамічної зональності у відкритому карстовому масиві (за О. Климчуком, 2009 та В. Суховим, 2015)

лення якої відбувається за рахунок вод зони аерації і дуже залежить від періодичності та кількості інфільтрації атмосферних опадів. Під час весняного розтавання снігу та дощового періоду восени, водоносні колектори, як правило, повністю заповнюються водою. Натомість спекотним літом і холодною зимою вони, переважно, бувають заповнені атмосферним повітрям. Фреатична зона (зона повного насичення) є водоносним комплексом безнапірних вод з вільною поверхнею. Локальні напори тут іноді виникають у карстових каналах та порово-тріщинних колекторах завдяки різким змінам умов живлення [1]. Приблизно така ж картина спостерігається у приповерхневій частині «крейдяної брили» (перші десятки метрів). Нижче, завдяки напірному характеру підземних вод і висхідному розвантаженню глибинного флюїдного потоку.

Карстоутворення суттєво впливає на усі елементи природного ландшафту, а разом з тим і на будівельні об'єкти, споруджені на породах, охоплених карстом, що проявляється у хімічному руйнуванні основ будівель і споруд. Цей процес є важливим фактором стійкості і таких історично-архітектурних пам'яток, як комплекс Святогірського монастиря. Причому, чим древнішими є карстові процеси, тим більшого ризику зазнають будівельні конструкції. З іншого боку – чим старшими за часом забудови є будівельні конструкції у зоні ризику, тим більшою є вірогідність їх деформації та руйнування унаслідок процесів карстоутворення.

Інфільтраційні та підземні води, що вміщуються у карстових колекторах, постійно розчинюють та переносять речовину карбонатних по-

рід. Це призводить до постійного збільшення розмірів карстових порожнин, що, у свою чергу, є суттєвим фактором збільшення інтенсивності гідродинамічних процесів у підземній гідросфері.

Слід зазначити, що інтенсивність карстової денудації на ділянках, що розташовані вище місцевих базисів дренажу (як у випадку зі Святогорським монастирем) може бути на порядок вищою, ніж для порід такого ж складу але залягаючих на нижчих гіпсометричних відмітках [6]. Це є свідченням того, що карстовий процес не лише пов'язаний з хімічною діяльністю підземних вод, а й є прямим наслідком особливостей їхньої динаміки.

Серед негеологічних чинників впливу на взаємодію підземних вод з мінеральною речовиною гірських порід особливо слід виділити природну живу речовину (біоту) – рослинність, мікроорганізми, тваринний світ та антропогенні (техногенні) процеси. Усі вони є характерними для зони вільного водообміну, яка цілком співпадає з зонами гіпергенезу і геологічного вивітрювання.

Жива органічна речовина присутня як у гірських породах, так і у підземних водах. Коріння дерев і трав'яного покриву активно руйнують ґрунти і приповерхневу частину порід, а продукти їх життєдіяльності впливають на фізико-хімічні параметри підземних вод (рН, Eh, газовий склад та мікроелементний склад). Мікроорганізми приймають участь у окислювально-відновлювальних реакціях: біогеохімічні процеси за участю живих організмів різних форм організації призводять до змін геохімічних особливос-

тей підземних вод, тим самим часто посилюючи їх агресивний вплив на гірські породи. Все це спричиняє мобілізацію хімічних елементів та сполук із твердої фази у рідину з одночасною активізацією їх міграції у водяних розчинах. Вплив цього фактора на розвиток карбонатного карста практично не досліджувався. Тому у своїх подальших роботах автор планує приділити цій проблемі особливу увагу.

У міських та індустріальних умовах важливу роль у геохімічних процесах в системі «порода-вода» відіграють антропогенні (техногенні) фактори. Вони можуть проявлятися як через фізико-хімічне руйнування масивів гірських порід, на яких збудовано будівлі та споруди, так і через штучне забруднення підземних вод аж до зміни їх геохімічного типу. Такі води цілком правомірно називати «антропогенними». Поява їх пов'язана з процесами інтенсивного забруднення підземної гідросфери, яке може носити як локальний, так і регіональний характер [17]. На території досліджень забруднення ґрунтових та підземних вод продуктами людської життєдіяльності та сільськогосподарськими препаратами є незначним, оскільки територія досліджень знаходиться в межах Святогірського природного заповідника, де будь-яка промислова діяльність є забороненою. Тому негеологічні, а, передусім, антропогенні (техногенні) чинники мають тут обмежений вплив на геодинамічні процеси, що пов'язані з діяльністю підземних вод.

Гідрогеологічні особливості розвитку карсту у мергельно-крейдянній товщі «крейдяної брили».

Карстоутворення, що відбувається завдяки розчинній дії води, є одним з головних ландшафтоутворюючих явищ [13,14]. Але в межах «крейдяної брили» цей процес є далеко не основним чинником формування рельєфу, хоча і відіграє важливу роль у розвитку тріщинуватості і порожнинності мергельно-крейдяної товщі. З карстом пов'язане утворення поверхневих депресій, гротів та інших геоморфологічних форм, що виникли у цьому карбонатному верхньокрейдяному масиві завдяки хімічним реакціям у системі «порода-вода» [10].

Слід зазначити, що питання про існування в межах «крейдяної брили» карбонатного карсту до останнього часу було відкритим, оскільки попередніми дослідженнями тут було виявлено лише активний твердий (поверхневий і підземний) стік, що пов'язаний з суфозійними явищами (Сторчова А.М., Молодан В.О., 1982 та ін.). Авторами в процесі польових досліджень було встановлено факти, які вказують на розвиток у мергельно-крейдянній товщі верхньої крейди «крейдяної брили» карбонатного карста, обумов-

лено хімічною взаємодією у системі «порода-вода». Це дозволило визначити ще один важливий природний фактор негативної дії на крейдяну Миколаївську церкву та інші монастирські споруди.

Найважливішими факторами розвитку карсту є динаміка і температура підземних вод, їхній хімічний та газовий склад, що забезпечують інтенсивність хімічних реакцій з розчиненням карбонатних порід [14,28].

За нашими спостереженнями, водообмінні системи, які утворилися у верхньокрейдяних відкладах, призвели до формування тут двох різновидів карста – гіпергенного (епікарста) та гіпогенного (ендокарста) [15,19]. Якщо розвиток карсту першого типу пов'язаний в основному з інфільтраційними водами, то карст другого типу обумовлюється розвантаженням вод глибоких горизонтів та глибинних флюїдів і, зокрема, двооксиду вуглецю [9,26].

Особливістю розвитку карсту є постійне пришвидчення інтенсивності цього процесу у часі та збільшення обсягів закарстованих порід у просторі. Така тенденція, в основному, забезпечується постійним розширенням каналів фільтрації підземних вод (за рахунок розчинення порід) і, відповідно пришвидченням їх руху у тріщинно-порожнинному просторі [8].

Взаємодія інфільтраційних та напірних вод різного хімічного складу з карбонатними відкладами призводить до появи в них різних за розмірами та формою порожнин, параметри яких залежать від характеру проникності порід, їх тріщинуватості, швидкості фільтрації та агресивності вод і газів, а також часу існування системи «підземні води – карбонатні породи». Паралельно з цим, як це має місце в межах «крейдяної брили», можуть спостерігатися і процеси метасоматозу, які проявляються у перекристалізації карбонатних порід – хемолітогенезі з утворенням аморфного, а іноді і кристалічного карбонату [19].

Серед карстових форм рельєфу, пов'язаних з епікарстом найрозповсюдженішими є лійки глибиною від декількох см до 0,5-1,0 м, що часто зустрічаються на терасах (крейдяних уступах) та відносно похилих схилах. Встановлено тут і карри – тріщини, заповнені «крейдяним порошком». Подібні форми, але з кірками аморфного, а іноді й скритокристалічного кальцита (арагоніта) приурочені до тектонічних тріщин, що прорізають відслонення «крейдяної брили». Останні, за результатами дисертаційних досліджень, є проявами ендо- або гіпокарсту. До наслідків древнього епікарсту, зокрема, належать гроти, що пов'язані як із сучасним, так і з древнім рівнем води у р. Сіверський Донець.

У мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди в межах Святогірського монастиря підземні води приурочені до її верхньої тріщинуватої зони, покрівля якої є досить нерівною [4]. На ділянках приповерхневого залягання зони сучасний рельєф повторює її обриси. Утворення тріщинуватої зони у породах верхньої крейди пов'язане як з древніми, так і з сучасними процесами геологічного вивітрювання, важливу роль у яких відігравали інфільтраційні води. Товщина вивітрилої тріщинуватої зони до 5-10 м, а також перекриття її четвертинними піщано-глинистими відкладами та ґрунтами створило передумови для формування в ній у межах крейдяного виступу водоносного горизонту. Коефіцієнти фільтрації підземних вод в його межах змінюються у ньому від 0,01-15,0 м/добу, а дебіти свердловин – від 5,0-10,0 до 30,0-40,0 л/с.

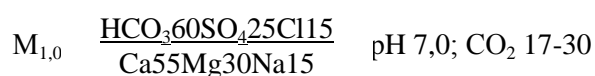
У зонах тектонічної тріщинуватості (інколи шириною у десятки сантиметрів) по свердловинах часто спостерігається вертикальне розвантаження підземних вод палеозоя. Слід зазначити, що води крейдяних відкладів характеризуються нейтральною або близькою до неї реакцією (pH 6,8-7,2), мінералізацією в межах 3-5 г/дм³ та гідрокарбонатним натрієвим складом. Натомість підземні води палеозоя мають більш лужну реакцію (pH 7,6-8,0), вищу (до 10 г/дм³) мінералізацію та інший хімічний склад – від сульфатно-хлоридних змішаного катіонного складу до гідрокарбонатно-хлоридних натрієвих, а у деяких випадках навіть хлоридних натрієвих. Важливого геохімічною особливістю таких вод є аномальні кількості в них як вільного, так і розчинного двооксиду вуглецю [18]. Все це створює сприятливі умови для розвитку суфозійних та карстових процесів в межах «крейдяної брили», на якій знаходяться древні монастирські споруди.

Водоносний горизонт мергельно-крейдяної товщі в межах регіону розповсюджений як у Бахмутській, так і в Кальміус-Торецькій улоговинах. Найбільша його товщина і водомісткість спостерігається у синклінальних (міжкупольних) прогинах, а гідравлічний взаємозв'язок горизонту фіксується не лише з алювіальними та ґрунтовими водами, а й водами Сіверського Донця у його долині. Дебіти підземних вод тут сягають 69-83,3 дм³/с при зниженнях до 2-5 м [4].

На вододілах верхньокрейдяна мергельно-крейдяна товща буває практично безводною. Деякі дослідники пов'язують це з відсутністю зони тріщинуватості [4]. Проте це, вірогідно, навпаки обумовлюється підвищеною тріщинуватістю порід верхньої крейди і збільшенням на цих ділянках товщини зони вільного водообміну, а, отже і зміною режиму підземних вод з напірного на безнапірний. При цьому безнапірні або слабко

напірні (з напором до 10-20 м) води просто не можуть досягти вододільних структур, що іноді знаходяться на значно вищих (до 100-150 м) гіпсометричних відмітках [4].

Дослідження хімічного складу підземних вод регіону різного генезису, відібраних як з верхньокрейдяного горизонту, так і з тріщинних зон дозволили визначити їх усереднений склад та характеристики. В основному, це гідрокарбонатні кальцієві (магнієві) води з низькою (0,7-1,2 г/дм³) мінералізацією та нейтральною реакцією (pH 6,8-7,2). Вміст CO₂ в них в середньому коливається в межах 17-30 мг/дм³, а концентрації мікроелементів не перевищують фонових значень [18]. Узагальнена формула Курлова для вод мергельно-крейдяної товщі за розрахунками автора може мати такий вигляд:



Проте, на фоні гідрокарбонатних та гідрокарбонатно-сульфатних кальцієвих, магнієвих вод з низькою мінералізацією, нейтральною pH та незначним вмістом мікроелементів і газів, часто зустрічаються і води з іншими геохімічними характеристиками. Так, у зоні Петрівсько-Кремінського розлому спостерігається потужна гідрогеохімічна інверсія, пов'язана з висхідним розвантаженням вод хлоридного та хлоридно-сульфатного складу. Це вказує на те, що у живленні таких вод приймають участь води глибоких горизонтів, що розвантажуються в межах Святогірської структури [16,21].

Фізико-хімічні параметри розчинення мергельно-крейдяних порід.

Різноманітність фізико-хімічних параметрів підземних вод, що розвантажуються у зонах глибоких розривних порушень, дає усі підстави вважати, що окрім механічної, такі агресивні щодо карбонатів води здійснюють на породи мергельно-крейдяної товщі і хімічну дію. А саме з останньою і пов'язані процеси карстоутворення [9,14].

Про карст у верхньокрейдяній карбонатній товщі в межах «крейдяної брили» свідчить карстовий грот, що утворився нижче Миколаївської церкви – майже на рівні водної поверхні р. Сіверський Донець. Із цього грота по вертикальній тектонічній тріщині у річку розвантажуються висхідне джерело з дебітом до 4,5 дм³/с. Як засвідчив хімічний аналіз проби води, відібраний з цього джерела і виконаний у хімічній лабораторії хімічного факультету ХНУ імені В.Н. Каразіна, вона має гідрокарбонатний кальцієво-натрієвий склад, досить високу мінералізацію – 8,6 г/дм³ та слабо лужну реакцію (pH) – 7,8. Серед мікроелементів у аномальних концентраціях присутні

бром, бор, цинк, ртуть, літій, рубідій, а серед газів звертає на себе увагу високі концентрації двооксиду вуглецю ($86,0 \text{ мг/дм}^3$) та гелію ($0,001 \text{ мг/дм}^3$) [19]. Геохімічні особливості складу підземних вод, що розвантажуються з тріщини у мергельно-крейдових породах вказують на дві їхні особливості: а) живлення за рахунок вод глибоких горизонтів за участі ендегенних флюїдів та б) активне розчинення ними карбонату кальцію в процесі його хімічної взаємодії з джерельною водою. Суттєву роль у цих реакціях відіграє CO_2 , який у десятки разів прискорює перехід іонів Ca^{2+} та CO_3^{2-} у розчин [14,23,24].

Гідрогеологічні особливості верхньокрейдових порід мергельно-крейдової товщі Святогірської брахіантикліналі та прилеглих геологічних структур дозволили з'ясувати закономірності інтенсивності процесів розчинення крейди (CaCO_3) у різних фізико-хімічних умовах системи «крейда-вода». Вплив основних показників води на перехід іонів Ca^{2+} (ум.од.) у розчин аналізувався в залежності від хімічного складу (геохімічного типу), присутності вільного двооксиду вуглецю (CO_2 , мг/дм^3), мінералізації (г/дм^3) та величини рН підземних вод (рис. 2 а,б,в,г).

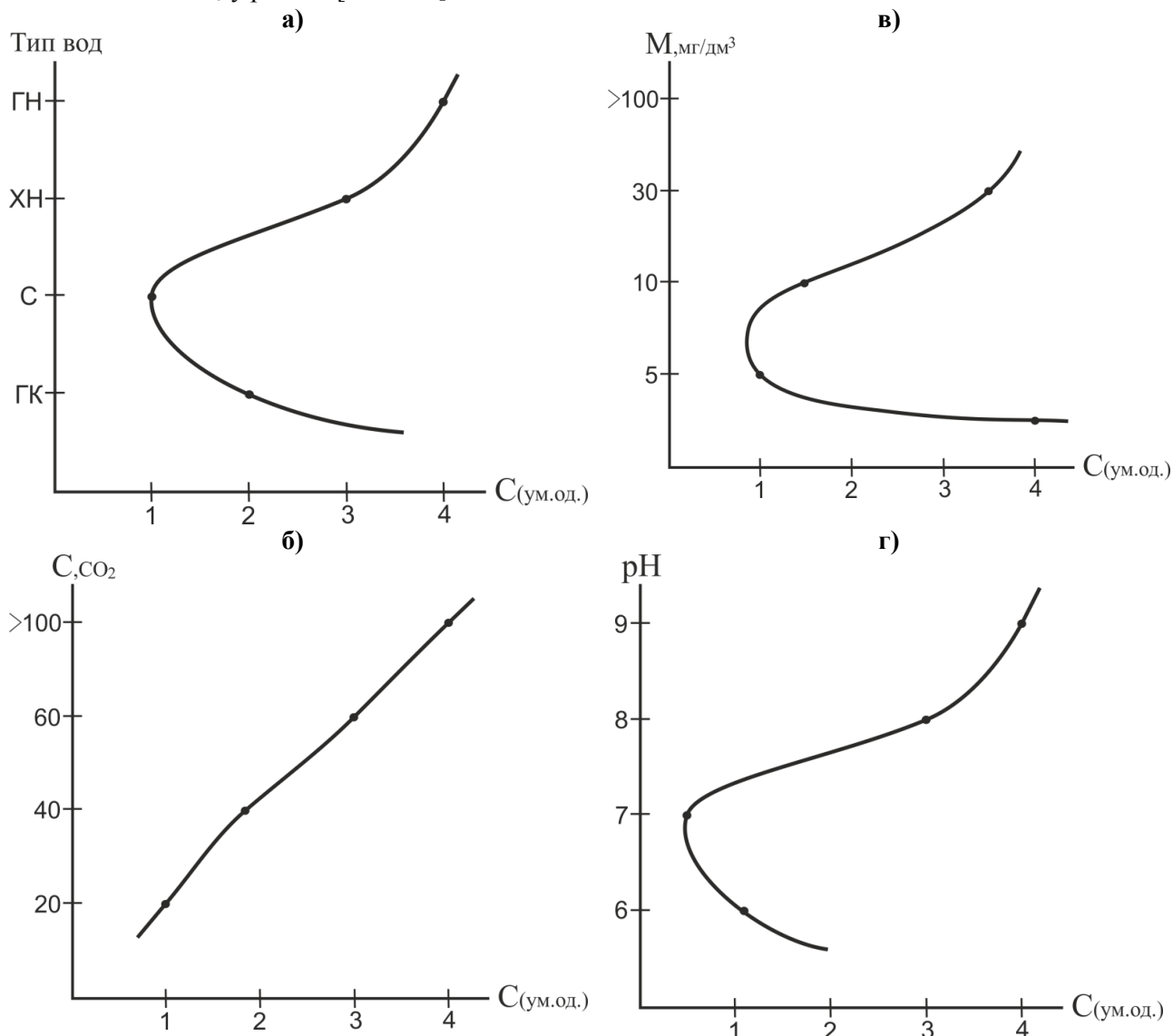


Рис. 2. Розчинність карбонату кальцію у воді в залежності від її фізико-хімічних параметрів: а) хімічного складу; б) концентрації CO_2 ; в) мінералізації; г) величини рН. Геохімічні типи вод: Г – гідрокарбонатно-кальцієвий (магнієвий); С – сульфатний; ГН – гідрокарбонатно-натрієвий; ХН – хлоридно-натрієвий

Експериментально було встановлено, що максимальна розчинність карбонату кальцію спостерігається у гідрокарбонатних натрієвих (ГН) водах. Трохи нижчою вона є у водах гідро-

карбонатного кальцієвого, магнієвого (ГК) та хлоридного натрієвого (ХН) складу. А найнижчою розчинність кальциту спостерігається у сульфатних (С) водах різного катіонного складу

(рис. 2, а). Це може бути пов'язане як з хімічним складом, так і з мінералізацією та рН розчинів, які є характерними для кожного із зазначених

їх типів. Так, присутність, зокрема, солей NaCl та йонів SO_4^{2-} у розчині, значно зменшує розчинність у воді CO_2 , що у свою чергу гальмує розчинні процеси у системі «кальцій-вода» [22]. Як свідчать результати лабораторних експериментів саме розчинений у воді двооксид вуглецю значною мірою регулює перехід йонів Ca^{2+} з твердого карбоната кальція у розчин. Дослідження, проведені на основі геологічних фактичних матеріалів довели існування прямої залежності між концентраціями у воді розчинного CO_2 та вмістом йонів Ca^{2+} у пробах, відібраних з верхньокрейдкової карбонатної товщи (рис. 2, б). Таким чином, експерименти на основі фактичного матеріалу польових робіт підтверджують висновки інших дослідників [22].

За даними авторів розчинність кальциту різко підвищується при переході від низькомінералізованих ($0,1-10,0 \text{ г/дм}^3$) вод до слабких розсолів ($M > 30,0 \text{ г/дм}^3$). Подальше збільшення мінералізації значно менше впливає на інтенсивність переходу йонів Ca^{2+} у розчин (рис. 2, в), що підтверджується експериментальними лабораторними дослідженнями.

В нейтральних умовах (рН 6,8-7,2) вона мінімальна, у слабко кислих (рН < 6,8) – незначно підвищується, а у лужних (рН > 8,0) – різко зби-

льшується (рис. 2, г). Це можна пояснити тим, що з підвищенням лужності у розчині зростає концентрація йонів водню (H^+), які активно заміщують йони Ca^{2+} у карбонатних породах [25].

Висновки.

1. Карст – геодинамічний наслідок геологічної діяльності підземних вод, що проявляється у розчиненні та вилугуванні гірських порід з формуванням рідинного стоку. Для розвитку карсту необхідні такі основні умови: а) фізичні – значна товщина карбонатних порід та низький рівень підземних вод; б) хімічні – лужність підземних вод гідрокарбонатно-натрієвого складу і присутність у них розчинного та вільного двооксиду вуглецю.

2. За ознаками карст поділяється на: молодий та древній, відкритий і закритий, ерозійний та змішаний, приповерхневий (епікарст) та глибокий (гіпокарст). У районах відкритого карсту існує гідродинамічна зональність, що проявляється у існуванні згори до низу зон: а) живлення; б) вадозної та в) фреатичної.

3. Гідрогеологічні особливості розвитку карсту на території досліджень ґрунтуються на ролі тріщинно-порожнинного простору у фільтрації підземних вод різного формування та висхідному розвантаженні агресивних до карбонатів вод глибоких горизонтів та двооксиду вуглецю, а також несприятливих фізико-хімічних умовах розчинення мергельно-крейдяних порід.

Література

1. Андрейчук В. Н. Карст как геоэкологический фактор / В. Н. Андрейчук. – Сосновец–Симферополь. – Изд-во Вышш. шк. Экологии в Сосновице и Укр ИСК НАН и МОН Украины, 2007. – 137 с.
2. Белоконь В. Г. Бассейн р. Северский Донец как геодинамическая система, отражающая процессы больших глубин / В. Г. Белоконь // Геологический журнал. – 1984. – Т. 34. – Вып. 5. – С. 11–27.
3. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена / В. М. Шестопалов, А. Б. Ситников, В. И. Лялько и др. Отв. ред. В. М. Шестопалов. – Изд. ИГН АН УССР. – Киев : Наук. думка, 1988. – 272 с.
4. Гидрогеология СССР. – Т. VI, Донбасс. – М. : Недра, 1971. – 480 с.
5. Дублянский В. Н. Карстолого-геофизические исследования карстовых полостей Приднестровской Подолии и Покутья / В. Н. Дублянский, Б. М. Смольников. – Киев : Наук. думка, 1969. – 151 с.
6. Зверев В. П. О механизме массопереноса растворенного вещества в верхних частях земной коры / В. П. Зверев // Докл. АН СССР, 1972. – Т. 206. – № 6. – С. 1449-1452.
7. Каратетьяну М. Х. Химическая термодинамика. – М.: Химия, 1975. – 430 с.
8. Климчук А. Б. Эпикарст : гидрогеология, морфогенез и эволюция / А. Б. Климчук. – Симферополь : Сонат, 2009. – 112 с.
9. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста / А. Б. Климчук. – Симферополь : ДИАЙПИ, 2013. – 180 с.
10. Луцик А. В. Подземные воды карстовых платформенных областей юга Украины / А. В. Луцик, В. И. Морозов, В. П. Милешин. – К. : Наук. думка. – 1981. – 200 с.
11. Лялько В. И. Тепломассоперенос в литосфере / В. И. Лялько. – К. : Наук. думка, 1985. – 259 с.
12. Максимович Г. А. Основы карстологии. В 2-х томах. Т. 2: Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст / Г. А. Максимович. – Пермь : Пермское книжное изд-во, 1969. – 529 с.
13. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, С. Л. Шварцев и др. – Новосибирск : Наука, 1982. – 239 с.
14. Соколов Д. С. Основные условия развития карста / Д. С. Соколов. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с.
15. Сухов В. В. Гідрогеологічні особливості карбонатного карсту / В. В. Сухов, В. Г. Суярко, О. О. Сердюкова // Science Rise. – 2015. – № 7/1(12). – С. 23-27.

16. Суярко В. Г. Особенности формирования вертикальной гидрогеохимической зональности в мезозойских структурах Донецкого прогиба / В. Г. Суярко // Геологический журнал. – 1984. – Т. 44, № 1. – С. 127–130.
17. Суярко В. Г. Экология подземной гидросферы Донбасса / В. Г. Суярко. – К. : Знание, 1997. – 69 с.
18. Суярко В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена / В. Г. Суярко. – Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2006. – 225 с.
19. Суярко В. Г. Концептуальна синергетична геолого-гідрологічна модель розвитку суфозії та карсту у карбонатних породах на території Святогірського монастиря / В. Г. Суярко, В. В. Сухов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2015. – № 1157. – С. 63-68.
20. Суярко В. Г. Гідрогеодинамічні процеси у карбонатних породах. Частина I. Суфозія / В. Г. Суярко, В. В. Сухов, О. В. Чуєнко // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2017. – № 47. – С. 64-70.
21. Суярко О. В. Про зв'язок зон розвантажування вод глибоких горизонтів палеозою з глибинною тектонікою Донбасу / О. В. Суярко // ДАН УРСР. – 1970. – Сер. Б, № 5. – С. 403–405.
22. Хміль Г. А. Оцінка потенційної техногенної та природної безпеки території України на основі системного аналізу / Г. А. Хміль // Екологія і ресурси : зб. наук. праць. Інституту проблем національної безпеки. – К. : ІПНБ. – 2007. – Вип. 17. – С. 54–65.
23. Ford D. C. Karst Hydrogeology and Geomorphology / D. C. Ford, P. W. Williams. – Wiley, Chichester, 2007. – 562 p.
24. Helgeson H. C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperature and pressures / H. C. Helgeson // Amer. J. Sci., 1969. – V. 267. – P. 729-804.
25. Hemley J. J. Chemical abreact of hydrothermal alteration urith empharis on hydrogen metasomatism / J. J. Hemley, W. R. Gones // Ecom. Geol., 59, 1964. – P. 538–569.
26. Klimchouk A. Speleogenesis : Evolution of Karst Aquifere / A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt (eds.). – Huntsville; Nalt, Speleol. Soc., 2000. – 495 p.
27. White W. B. Geomorphology and hydrology of karst terrains / W. B. White. – Oxford University Press. – New York, 1988. – 464 p.
28. White W. B. Karst hydrology : recent developments and open questions / W. B. White // Eng. Geol. – 2002. – 65. – P. 85–105.

UDC 556.3:551.435.82

Valeriy Sukhov,

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Hydrogeology,
V. N. Karazin Kharkiv National University,
Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: donsanchos77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>;

Vasyl Suyarko,

Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,
Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: vgsuyarko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

Konstantin Niemets,

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

Andrij Matveyev,

Doctor of Science (Geology), Associate Professor, Head of the Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University,
e-mail: mathwey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2600-6529>

HYDROGEODYNAMIC PROCESSES IN CARBONATE ROCKS. PART II. KARST AND ITS INFLUENCE ON GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Formulation of the problem. Chemical activity of groundwater in the natural geological environment is caused by chemical reactions in a complex physical-chemical system "rock-water-gas". Leaching and dissolution play the leading role in carbonate rocks. These processes can best be described by the laws of chemical thermodynamics, which can justify the existence of the relationship between the reactions themselves, and determine the amount of energy consumed by them. This enables to establish not only direction of physical and chemical transformations but also their results in certain geological, hydrogeological and geochemical conditions. The consequences of chemical activity of groundwater can be the following: 1) physical and chemical destruction and formation of minerals and rocks; 2) migration and concentration of chemical elements and their compounds in solutions; 3) formation of groundwater chemical composition.

Presentation of main material. Sorption and ion exchange processes play an important role in carbonate water systems. Sorption is the process of selective absorption of liquid and gaseous substances by solid phase and contributes to penetration of various chemical composition in water solutions into rocks.

Depending on the depth of karst cavities, karst is divided into *young* and *ancient* according to the time of formation. According to the development of covering sediments on the rocks, karst is distinguished by *open* (without soil-vegetation cover) and *closed* (blocked by younger formations). Formation and development of closed karst is almost exclusively due to the action of groundwater located in the aquifer, in the rocks where there is karst formation. Instead, open karst is formed with the participation of both underground and surface infiltration waters.

Anthropogenic (man-made) factors play an important role in geochemical processes in the "rock-water" system in urban and industrial conditions. They can manifest both through physical and chemical destruction of rocks, on which buildings and structures were constructed, and due to artificial groundwater contamination up to the change of their geochemical type.

Conclusions. Karst is a geodynamic consequence of geological activity of groundwater, manifested in dissolution and removal of rocks with the formation of a liquid runoff. For the karst to develop, the following basic conditions are required: a) physical - significant thickness of carbonate rocks and low groundwater level; b) chemical - alkalinity of underground waters of bicarbonate-sodium composition and presence of soluble and free carbon dioxide in them.

Hydrogeological peculiarities of karst development on the territory of research are based on the role of cracks and cavities in the filtration of groundwater of different formations and ascending unloading of aggressive to carbonates water from deep horizons and carbon dioxide, as well as unfavorable physical-chemical conditions of marl and chalk rocks dissolution.

Keywords: hydro-geodynamic processes, carbonate rocks, karst, underground waters, karst forms, ion exchange, dissolution, leaching.

References

1. Andreychuk, V.N. (2007). *Karst as a geoecological factor*. Sosnowiec-Simferopol, Publishing House of High School of Ecology in Sosnowiec and Ukr ISK of NAS and MES of Ukraine, 137.
2. Belokon, V.G. (1984). *The Seversky Donets River Basin as a Geodynamic System Reflecting the Processes of Great Depths*. *Geological Journal*, 34, 5, 11-27.
3. Shestopalov, V.M., Sytnikov, A.B., Lyalko, V.I. and others (1988). *Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Methods of studying water exchange*. Ed. V.M. Shestopalov. Publishing House of Academy of Sciences of the USSR. Kiev: Naukova Dumka, 272.
4. *Hydrogeology of the USSR*. Vol. VI, Donbass (1971). M.: Nedra, 480.
5. Dublyansky, V.N., Smolnikov, B.M. (1969). *Cartilage and Geophysical Investigations of Karst Cavities of the Transnistrian Podolia and Pokutya*. Kiev: Naukova Dumka, 151.
6. Zverev, V.P. (1972). *On the mechanism of mass transfer of dissolved matter in the upper parts of the earth's crust*. *Dokl. AN SSSR*, 206, 6, 1449-1452.
7. Karapetyants, M.Kh. (1975). *Chemical thermodynamics*. Moscow: Chemistry, 430.
8. Klymchuk, A.B. (2009). *Epikarst: Hydrogeology, Morphogenesis and Evolution*. Simferopol: Sonat, 112.
9. Klymchuk, A.B. (2013). *Hypogenous speleogenesis, its hydrogeological significance and role in the evolution of karst*. Simferopol: DIAPI, 180.
10. Lushchik, A.V., Morozov, V.I., Mileshin, V.P. (1981). *Underground waters of karst platform in the regions of southern Ukraine*. K.: Naukova Dumka, 200.
11. Lialko, V.I. (1985). *Heat-mass transfer in the lithosphere*. K.: Naukova Dumka, 259.
12. Maksimovich, G. A. (1969). *Fundamentals of karst studies*. In 2 volumes. Vol. 2: *Issues of hydrogeology of karst, rivers and lakes of karst regions, karst chalk, hydrothermocarst*. Perm: Perm book edition, 529.
13. Pinneker, E.V., Pisarsky, B.I., Shvartsev, S.L. and others (1982). *Fundamentals of hydrogeology. Geological activity and history of water in the earth's subsoil*. Novosibirsk: Nauka, 239.
14. Sokolov, D.S. (1962). *Basic conditions for the development of karst*. Moscow: Gosgeoletekhizdat, 321.
15. Sukhov, V.V., Suyarko, V.G., Serdyukova, A.O. (2015). *Hydrogeological features of carbonate karst*. *Science Rise*, 7/1 (12), 23-27.
16. Suyarko, V.G. (1984). *Features of vertical hydrogeochemical zonation formation in the Mesozoic structures of Donetsk deflection*. *Geological journal*, 44, 1, 127-130.
17. Suyarko, V.G. (1997). *Ecology of Donbass underground hydrosphere*. K.: Knowledge, 69.
18. Suyarko, V.G. (2006). *Geochemistry of underground waters of the eastern part of the Dnieper-Donets avelecogene*. Kharkov: V.N. Karazin KhNU, 225.
19. Suyarko, V.G., Sukhov, V.V. (2015). *Conceptual synergistic geological and hydrogeological model of sufusion and karst development in carbonate rocks on the territory of Svyatogorsk monastery*. *Visnyk of V.N. Karazin KhNU, series "Geology. Geography. Ecology"*, 1157, 63-68.
20. Suyarko, V.G., Sukhov, V.V., Chuenko, O.V. (2017). *Hydrogeodynamic processes in carbonate rocks. Part I. Suffusion*. *Visnyk of V.N. Karazin KhNU, series "Geology. Geography. Ecology"*, 47, 64-70.
21. Suyarko, O.V. (2017). *On the connection of deep water depletion zones of the Paleozoic with deep tectonics of Donbas*. *DAN USSR, Ser. B*, 5, 403-405.
22. Khmil, G.A. (2007). *Estimation of potential technogenic and natural safety of territories of Ukraine on the basis of system analysis*. *Ecology and resources: Coll. Sci.works. Institute for National Security Problems*. K.: IPNB, 17, 54-65.
23. Ford, D.C., Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562.
24. Helgeson, H.C. (1969). *Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperature and pressure*. *Amer. J. Sci.*, 267, 729-804.
25. Hemley, J.J., Gones, W.R. (1964). *Chemical abreaction of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism*. *Ecom. Geol.*, 59, 538-569.
26. Klimchouk, A., Ford, D., Palmer, A., Dreybrodt, W. (eds.). (2000). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifer*. Huntsville; Nalt, *Speleol. Soc.*, 495.
27. White, W.B. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press. New York, 464.
28. White, W.B. (2002). *Karst hydrology: recent developments and open questions*. *Eng. Geol.*, 65, 85-105.

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 від 15 до 30 друкованих сторінок, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською, російською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими – фахівцями у даній тематиці.

Матеріали подаються у друкованому і в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту geoco-series@karazin.ua. Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 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. Відступ для абзацу – 0,75 см.

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, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відображати головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

Олексій Вацлавович Барташук,

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназіяна 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 парагенез.

А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА. *Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского фундамент впервые выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты. ...*

Ключевые слова: деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

Вступ. Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізмами об'ємної течії гірських порід. ...

Література

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] / А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3. – С. 36-54.
2. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.

UDC 551.243.8:550.8(477)

Oleksii Bartashchuk,

PhD (Geology), Associate Professor, Head of Department of natural gas resources, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, Gimnaziyna naberejna, 20, 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.

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗИНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 48

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською, російською та англійською мовами

Редактор К. А. Немець
Технічний редактор О. В. Чуєнко
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко
Відповідальний за випуск К. А. Немець

Підписано до друку 30.05.2018 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 14,8. Обл.–вид. арк. 17,2.
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–15. Ціна договірна.

61022, Харків, майдан Свободи, 4
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Видавництво.

Надруковано: видавництво Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4, тел. +38-057-705-24-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.