

УДК 504+550+551+552+624

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research.

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Journal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index Research Bib and Google Scholar. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index Research Bib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. головн. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, проф.; О.Л. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; Т.В. Пастушенко, канд. філол. наук, доц.; Т.А. Мірончук, канд. філол. наук, доц. Іноземні члени редакційної колегії: А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; Т. Діндароглу, Університет Кахраманмарас Сутцу Імам, Туреччина; А. Ель Албані, Університет Пуатьє, Франція; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, О. Івахненко, Казахстансько-Британський технічний університет, Казахстан; А. Коронеос, Університет Арістотеля в Салоніках, Греція; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаша Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський державний технічний університет, Казахстан; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; В. Шмідт, Університет Мюнстера, Німеччина
Адреса редколегії	ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна ☎ (38044) 431 04 40; електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net; http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua
Затверджено	Вченою радою ННІ "Інститут геології" 31 серпня 2021 року (протокол № 1)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1–05/6 від 12.06.02
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 23534-13374 від 08.08.18
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601, Україна; ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 72; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research.

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Jornal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index Research Bib and Google Scholar. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index Research Bib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Chief publication manager O. Menshov

EDITOR-IN-CHIEF**EDITORIAL BOARD**

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

Ukrainian Members:

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Editor-in-Chief); O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.); V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Zacerkovniy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Prof.; G. Milinevskiy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; V. Nesterovskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Ogar, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Orliuk, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; T. Pastushenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.; T. Mironchuk, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.

Foreign members:

T. Dindaroğlu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Turkey; A. El Albani, Université de Poitiers, France; O. Ivakhnenko, Kazakh British Technical University, Kazakhstan; A. Koroneos, Aristotle University of Thessaloniki, Greece; Q. Liu, China University of Geosciences, China; M. Olivia, University of Lisbon, Portugal; P. Pereira, Mykolas Romeris University, Lithuania; V. Portnov, Karaganda State Technical University, Kazakhstan; V. Schmidt, Münster University, Germany; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China

Address

Institute of Geology, 90, Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,
tel. (38044) 431 04 40; e-mail: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua>

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
August 31, 2021 (Minutes # 1)

Certified by the

Higher Attestation Board
(the State Commission for Academic Degrees and Titles), Ukraine
Edict # 1-05/6 issued on 12.06.2002

Certified by the

Ministry of Justice of Ukraine
State Certificate # 23534-13374 issued on 08.08.18

Founded and published by

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University",
State Certificate # 1103 issued on 31.10.2002

Address

14, Taras Shevchenko blv., Kiev, 01030, Ukraine
☎ (38044) 239 32 22, 239 31 72; Fax 239 31 28

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Смельянов В., Іванік О., Кулага Т., Костючик Є., Дроздова А. Геоекологічні дослідження Причорноморських лиманів як складової геоекосистеми Азово-Чорноморського басейну	6
Митрохин О. Геологічні дослідження району Української антарктичної станції "Академік Вернадський" до 1996 року	15
Шевчук О., Пустовойтова Д. Стратифікація крейдових відкладів розрізу свердловини № 29 – Західнооктябрської (Каркінітсько-Північнокримський прогин) за палінологічними даними	27

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О. Фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених порід Північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини	37
Малицький Д., Нікулін В. Механізм вогнища Литовського землетрусу на основі інверсії хвильових форм	46
Круглов О., Меньшов О., Коляда В., Ачасова А., Андрєєва О. До питання комплексування геофізичних та агрохімічних методів досліджень схилів земель	53
Баньковський М., Гейхман А., Потапчук І. Застосування хвильового методу продовження потенціальних полів у нижній півпростір для вивчення глибинної будови Землі й пошуку родовищ корисних копалин	59

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Рудько Г. Геологія графітових родовищ України та перспективи видобутку в сучасних умовах	67
Гурбанов В., Наріманов Н., Насібова Г. Вплив стискальних напруг у Південнокаспійській мегазападині на розвиток і нафтогазоносність локальних підняття	75
Григорчук К., Гнідець В., Войцицький З. Динаміка розвитку літофлюїдних нафтогазових систем у крейдових відкладах центрикліналі Причорноморського мегапрогину	83
Сидорчук В., Загнітко В. Особливості локалізації уранового зруденіння в межах терейну Тазіаст-Тіджіріт, Регібатський щит	90

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Тагієв І., Керімов В., Шаріфов Д. Характеристика гідрогеологічних масивів Великого, Малого Кавказу і Талиша (Азербайджан) з урахуванням глобальних змін клімату	95
Пасіка С., Чомко Д., Опанасенко О., Хомяков Д., Скиба О., Пасіка Р., Горбачук О. Правове регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин	103
Шевченко О., Хрущов Д. Теоретико-прикладні засади заощадливого використання підземних вод. Інфогеофрейми в гідрогеології	109

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Iemelianov V., Ivanik O., Kulaha T., Kostiuhyk Ye., Drozdova A. Geoecological research of the Black Sea estuaries as a component of the Azov-Black Sea basin geoecosystem	6
Mytrokhyn O. Geological investigations in the Ukrainian Antarctic Station region before 1996	15
Shevchuk O., Pustovoitova D. Stratification of cretaceous deposits of the section № 29 – Zakhidnooktyabrsk (Karkinitko-North Crimean trough) by palynological data.....	27

GEOFYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabatura O. Porosity and permeability properties of consolidated rocks of the Northern near edge zone of the Dnieper-Donetsk depression	37
Malytskyy D., Nikuljins V. Focal mechanism of the Lithuanian earthquake of 12.06.15 based on waveform inversion.....	46
Kruglov O., Menshov O., Kolada V., Achasova A., Andreeva O. Integrating of geophysical and agrochemical methods for slope lands studying	53
Bankovskiy M., Geikhman A., Potapchuk I. Application of the wave method continuation of potential fields in the lower half area to study the deep structure of the Earth and search for mineral deposits.....	59

MINERAL RESOURCES

Rudko G. Geology of graphite deposits of Ukraine and prospects of extraction in modern conditions.....	67
Gurbanov V., Narimanov N., Nasibov G. Impact of compressional stresses within the South Caspian megadepression upon evolution and oil and gas content of local uplifts.....	75
Hryhorchuk K., Hnidets V., Wojcikyu Z. Dynamics of development of lithofluid oil and gas systems in the Cretaceous deposits of the western centriclinal of the Black Sea megadepression.....	83
Sydorchuk V., Zagnitko V. Localization features of uranium mineralization in the Tasiast-Tijirit terrane, the Reguibat shield	90

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Tagiyev I., Kerimov V., Sherifov J. Characteristics of hydrogeological massives of the Greater, Little Caucasus and Talysh (Azerbaijan) taking into account global climate change	95
Pasika S., Chomko D., Opanasenko O., Khomiakov D., Skyba O., Pasika R., Horbachuk O. Legal regulation of groundwater extraction processes to meet the needs of military units	103
Shevchenko O., Khrushchov D. Theoretical principles of saving groundwater use infogeoframes in hydrogeology	109

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Емельянов В., Иваник Е., Кулага Т., Костючик Е., Дроздова А. Геозкологические исследования Причерноморских лиманов как составляющей геозкосистемы Азово-Черноморского бассейна	6
А. Митрохин Геологические исследования района Украинской антарктической станции "Академик Вернадский" до 1996 года	15
Шевчук Е., Пустовойтова Д. Стратификация меловых отложений разреза скважины № 29 – Западнооктябрьской (Каркинитско-Северокрымский прогиб) по палинологическим данным	27

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук В., Онищук И., Рева Н., Шабатура А. Фильтрационно-емкостные параметры уплотненных пород Северной прибортовой зоны ДДВ	37
Малицкий Д., Никулин В. Механизм очага Литовского землетрясения 12.06.15 года на основании инверсии волновых форм	46
Круглов А., Меньшов А., Коляда В., Ачасова А., Андреева Е. К вопросу комплексирования геофизических и агрохимических методов исследований земель на склоне	53
Баньковский М., Гейхман А., Потапчук И. Применение волнового метода продолжения потенциальных полей в нижнее полупространство для изучения глубинного строения Земли и поиска месторождений полезных ископаемых	59

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рудько Г. Геология графитовых месторождений Украины и перспективы добычи в современных условиях	67
Гурбанов В., Нариманов Н., Насибова Г. Влияние сжимающих напряжений в Южнокаспийской мегавпадине на развитие и нефтегазоносность локальных поднятий	75
Григорчук К., Гнидец В., Войцицкий З. Динамика развития литофлюидных нефтегазовых систем в меловых отложениях западной центриклинали Причерноморского мегапрогиба	83
Сидорчук В., Загнитко В. Особенности локализации уранового оруденения в пределах террейна Тазиаст-Тиджирит, Регибатский щит	90

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Тагиев И., Керимов В., Шарифов Д. Характеристика гидрогеологических массивов Большого, Малого Кавказа и Талыша (Азербайджан) с учетом глобальных изменений климата	95
Пасика С., Чомко Д., Опанасенко О., Хомяков Д., Скиба О., Пасика Р., Горбачук О. Правовое регулирование процессов добычи подземных вод для обеспечения потребностей военных частей	103
Шевченко А., Хрущев Д. Теоретические основы ресурсосберегающего использования подземных вод. Инфогеофреймы в гидрогеологии	109

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 504:551.468.4 (262.5)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.01>

В. Смельянов¹, д-р геол.-мінерал. наук, чл.-кор. НАН України,

E-mail: eva@nas.gov.ua;

О. Іванік², д-р геол. наук, проф.,

E-mail: om.ivanik@gmail.com;

Т. Кулага¹, асп.,

E-mail: tatianakulaha@gmail.com;

Є. Костючик¹, асп.,

E-mail: jenyakostyuchik@ukr.net;

А. Дроздова², магістр,

E-mail: angelica.drozдова@gmail.com;

¹Центр проблем морської геології, геоелекології та осадового рудоутворення НАН України, пров. Машинобудівний, 28, м. Київ, 03067, Україна;

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧОРНОМОРСЬКИХ ЛИМАНІВ ЯК СКЛАДОВОЇ ГЕОЕКОСИСТЕМИ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. М.М. Коржневим)

Причорноморські лимани – це унікальні природні утворення, які мають велике геоелекологічне та рекреаційне значення. Незважаючи на їхню надзвичайну природну цінність, екологічний стан цих лиманів є майже критичним, що вимагає розробки дієвих заходів щодо їхнього збереження та відновлення геоелекологічної рівноваги. На основі аналізу літературних і фондових матеріалів у статті систематизовано інформацію щодо історії досліджень лиманів північно-західного узбережжя Чорного моря. Визначено сучасний стан і проблемні ситуації у вивченні їхньої морфології, динаміки та режиму, підкреслено існуючі проблеми для кожного лиману. На основі проведених польових геолого-геоморфологічних досліджень і даних ДЗЗ охарактеризовано особливості гравітаційних геологічних процесів у межах узбережних зон, проаналізовано зміни морфології берегової лінії та площ лиманів протягом 2015–2020 рр., наведено сучасні гідрологічні характеристики й особливості екологічного стану цих лиманів. Визначено перспективні напрями подальших досліджень цих об'єктів. З метою збереження природної цінності лиманів для їхнього подальшого вивчення запропоновано геоелекосистемний підхід і дослідження лиманів як унікальної перехідної зони між морем і суходолом (геоекотон).

Ключові слова: північно-західне узбережжя Чорного моря, лимани, антропогенне навантаження, геоелекологічний підхід, геоелекотон, ДЗЗ.

Вступ. Лимани узбережжя Чорного моря – це надзвичайно цінні природні об'єкти, що відзначаються унікальністю геологічної будови, особливостями просторово-часових закономірностей їхньої еволюції, морфології та динаміки. Крім того, лимани мають важливе значення для рибальства, судноплавства, бальнеологічного лікування, туризму та видобутку окремих видів корисних копалин. З причорноморськими лиманами пов'язано розміщення великих морських портів (Білгород-Дністровський морський торговельний порт у Дністровському лимані, Морський торговельний порт "Південний" у Малому Аджалицькому (Григорівському) лимані, Морський торговельний порт "Чорноморськ" (до 2016 р. – Іллічівський морський торговельний порт) у Сухому лимані, Дніпровсько-Бузький морський торговельний порт і Порт Ольвія у Дніпровсько-Бузькому лимані). Однак екосистеми причорноморських лиманів сьогодні перебувають у нестабільному стані, що спричинено переважно антропогенним впливом. Це позначається на складі донних відкладів цих водойм, водному режимі, стані берегів тощо. Ці обставини диктують необхідність усебічного дослідження лиманів із застосуванням геосистемного підходу та виконання моніторингових досліджень їхнього екологічного стану з метою уникнення та мінімізації можливих впливів і запобігання негативних наслідків.

Мета статті – аналіз чинників впливу на стан природного середовища в межах лиманів та аналіз геоелекологічної ситуації в їхніх межах на основі літературних і фондових матеріалів, даних польових досліджень та ДЗЗ.

Стан вивченості причорноморських лиманів і визначення проблемних ситуацій в дослідженні

їхньої геолого-геоморфологічної будови, гідробіологічних особливостей та оцінки геоелекологічного стану. Основні напрями досліджень лиманів, що почалися у кінці XVIII ст., визначалися потребами Чорноморського регіону. Одним із найпотужніших напрямів був гідробіологічний, що виник завдяки діяльності членів спеціальної Комісії з дослідження лиманів, яку було створено в 1893 р. на базі Новоросійського товариства природознавців (Виноградов, 1958).

Активно цей напрям розвивали гідробіологи О.О. Остроумов, В.І. Шманкевич, Н.А. Загоровський, А.К. Макаров, Ю.М. Марковський, А.Л. Макаров, С.Б. Гринбарт, І.І. Пузанов і Ю.П. Зайцев, К.А. Виноградов, В.С. Поліщук, Ф.С. Замбриборщ, В.М. Тімченко, Б.І. Новіков, В.Л. Гільман, Л.О. Журавльова, Н.Г. Александров, О.І. Іванов, Т.Г. Мороз та ін. (Миронов, 1990).

Дослідженням пелюїдів важливих об'єктів для бальнеологічного лікування займалися О.А. Веріго (1880), Є.С. Бурксер (1953), О.Ю. Митропольський та ін.

Одним із провідних напрямів досліджень було вивчення морфології берегів причорноморських лиманів, яке проводилось В.І. Будановим, А.Т. Владіміровим, О.С. Іоніним, В.П. Зенковичем та ін. (Зенкович, 1960). Дослідженням геологічної будови лиманів та особливостей донних відкладів глибоко займалися М.О. Соколов, Р.Р. Виржиковський, П.Л. Осауленко, П.К. Заморій, М.В. Карлов, Є.Ф. Шнюков та ін. (Шнюков, 1984), у результаті чого отримано дані щодо речовинного складу донних відкладів, їхніх стратиграфічних і палеонтологічних особливостей, а також палеогеографічних умов формування.

Сьогодні комплексні дослідження лиманів Причорномор'я проводяться переважно на базі інститутів

Національної академії наук (НАН) України та наукових установ подвійного підпорядкування (Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та НАН України, Міністерства освіти і науки (МОН) України та НАН України). Крім того, низка цікавих, у тому числі спеціальних, досліджень продовжує здійснюватися на базі Одеського національного університету (ОНУ) імені І.І. Мечникова, Одеського державного екологічного університету та іншими організаціями Причорномор'я, а також ученими Українського науково-дослідного інституту медичної реабілітації та курортології Міністерства охорони здоров'я України. Результати досліджень

висвітлено в низці публікацій (Адобовський і Большаков, 2005; Моисеєнко і Орехова, 2007; Морозова, 2008; Шуйський та ін., 2008; Малахов і др., 2010; Андреева, 2011; Нікіпелова, 2011; Гранова і Волынская, 2012; Шапарь і др., 2013; Коников, 2013; Эннан і др., 2014; Мінічева та Соколов, 2014; Гриб, 2015; Ломакин і др., 2016; Черкез та ін., 2017; Герасимюк, 2018 та ін.). Однак на сьогодні залишаються проблемними питання щодо оцінки геоекологічного стану лиманів, аналізу морфологічних і динамічних змін берегів і розробки рекомендацій щодо мінімізації негативного впливу антропогенних процесів.



Рис. 1. Схема лиманів північно-західного узбережжя Чорного моря (Мінічева та Соколов, 2014; SASGIS, н.д.):

1 – Хаджидер, 2 – Дофинівський, 3 – Солонець Тузли, 4 – Малий Сасик, 5 – Карачаус, 6 – Куяльницький, 7 – Джантшейський, 8 – Кучурганський, 9 – Бурнас, 10 – Будацький, 11 – Алібей, 12 – Шагани, 13 – Тилігульський, 14 – Сасик, 15 – Хаджибейський, 16 – Дністровський, 17 – Березанський, 18 – Бузький, 19 – Сухий, 20 – Дніпровський, 21 – Григор'євський

Сучасний стан вивченості лиманів Причорномор'я. Дніпровсько-Бузький лиман. Дніпровсько-Бузький лиман – це лиман відкритого типу, який є найбільшим серед лиманів Причорномор'я і досліджений найповніше. Основні дані щодо морфології берегів лиману, його геологічної будови та особливостей донних відкладів наведено в роботах (Зенкович, 1960; Шнюков, 1984). Пізніше, в оприлюдненій роботі (Попов і Есько, 1986) наведено уточнені дані про стратиграфію донних відкладів лиману. На основі матеріалів, отриманих з пробурених свердловин, дослідникам удалося виділити в межах лиману відклади карангатського і давньоевксинського віку. Особливості та закономірності утворення цього лиману детально вивчали співробітники Інституту гідробіології АН УРСР (Миронов, 1990).

Для Дніпровсько-Бузького лиману характерний вільний водообмін з морем і значна кількість річного стоку. Цей фактор дослідниками визначається як основний чинник, що впливає на формування донних відкладів лиману. Зокрема, результати дослідження впливу річного стоку на формування сучасних донних відкладів доводять, що фактор зменшення річного стоку спричиняє зростання солоності вод лиману та зниження біопродуктивності (Морозова, 2008; Малахов і др., 2010; Шапарь і др., 2013). Для цього лиману характерне найбільше видове різноманіття (за останніми даними – 296 видів) (Герасимюк, 2018). Згідно з дослідженням О.А. Андреевої екологічний стан Дніпровсько-Бузького лиману характеризується постійним перевищенням норм забруднення (Андреева, 2011). Дані про забруднення вод Дніпровського лиману підтверджені дослідженням Є.Є. Совги, І.В. Мезенцевої та С.П. Любарцевої (Совга

і др., 2012), яким удалось установити, що головними забруднювачами цього лиману є нафтопродукти та феноли. У донних відкладах лиману переважає вміст органічної форми вуглецю над неорганічною, і таким чином, Дніпровсько-Бузький лиман є природним поглиначем вуглекислого газу з атмосфери. Ці висновки є доволі тривожними, адже утворений у результаті окиснення органічної речовини вуглекислий газ накопичується в придонних водах. Такий процес призводить до вилугування карбонатних порід донних відкладів і до збільшення частки дрібнодисперсної фази, що, у свою чергу, провокує зниження здатності порід до цементації та ускладнює процеси сорбції й седиментації. Зрештою це активізує процеси вторинного забруднення лиману (Моисеєнко і Орехова, 2014).

Дністровський лиман належить до лиманів відкритого типу. Його узбережжя характеризується активним розвитком гравітаційних процесів. За результатами сучасних експедиційних досліджень на узбережжі лиману встановлено та виділено ділянки з розвитком небезпечних зсувних і суфозійних процесів. До таких ділянок належать території поблизу населених пунктів: Роксолани, Овідіюполя, Південного та ін. (рис. 2).

Дослідження геологічних особливостей лиману, у тому числі фізико-механічних особливостей його донних відкладів, активно проводились у кінці 80-х рр. під час проектування Білгород-Дністровської системи зрошення. Отримані дані дозволили побачити достовірну інформацію щодо положення покрівлі неогенових, меотичних і понтичних відкладів на великій площі. Це дало можливість відтворити палеогеографічну обстановку в межах Дністровського лиману в четвертинний

період (Карпов и Татаровський, 1981). У роботах (Зенкович, 1960; Шнюков, 1984) описано основні морфологічні та геологічні особливості лиману. Дані щодо донних відкладів та основних факторів, які впливають на їхнє формування, було уточнено в роботі (Чигрин, 1990), що дозволило авторці виділити в межах акваторії лиману окремі морфологічні та гідрохімічні зони. У межах сучасних польових досліджень було відібрано 12 зразків донних відкладів лиману, точки

спостереження розміщувалися вздовж усього берега лиману та розташовувалися на відстані кількох метрів від берегової лінії. Установлено, що сучасні донні відклади західної прибережної частини лиману представлені переважно мулами з домішками черепашкового детриту, тоді як відклади західної та південної частини переважно складені піском, іноді з домішкою черепашкового детриту, іноді з галькою.



а



б

Рис. 2. Гравітаційні (а) та суфозійні (б) процеси на узбережжі Дністровського лиману, ділянка поблизу с. Роксолана

У межах акваторії Дністровського лиману виділено чотири окремі гідрологічні райони, які відрізняються, зокрема, значеннями каламутності (Шуйський та ін., 2008; Березницкая, 2009; Шуйський, 2009). Сьогодні розуміння та знання стосовно гідрологічних умов вдалося додатково дослідити та поглибити за рахунок польових досліджень безпосередньо на місці спостереження. На основі аналізу 10 проб установлено окремі базові характеристики води лиману (рис. 3).

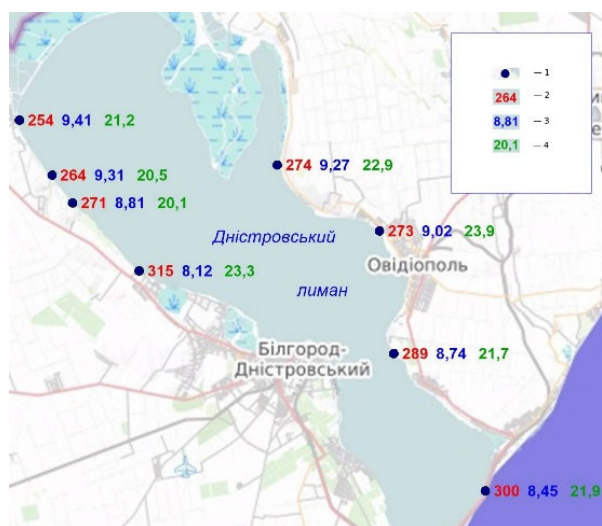


Рис. 3. Результати дослідження параметрів води Дністровського лиману (2020):

1 – точки спостереження, 2 – значення окисно-відновного потенціалу (мВ), 3 – значення водневого показника (pH), 4 – температура води (°C)

За даними Андреевої (2011), води, а також донні осадки лиману характеризуються перевищенням норм забруднення. Однак це питання на сьогодні лишається вивченим недостатньо.

Куяльницький та Хаджибейський лимани. Куяльницький лиман протягом довгих років є важливим об'єктом для бальнеологічного лікування (Нікіпелова, 2011; Молодецький и Пышная, 2014; Антонович и

Андронати, 2015). В останні десятиріччя екосистема Куяльницького лиману переживає значний природний і ще більший антропогенний стрес. В усіх пробах донних відкладів Куяльницького лиману присутні важкі метали (V, Zn, Pb, Cd, Mn, Cu), найбільший рівень забруднення виявлено серед елементів першого класу небезпеки (Pb, Zn, Cd). Цей факт установлений за результатами системного багаторічного (2000–2012) моніторингу стану донних відкладів лиману. Загалом науковці Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини МОН України та НАН України за цей період дослідили 255 проб приповерхневого шару відкладів за мережею 14 станцій (Шихалеева и др., 2012). Крім того, води лиману і донні відклади характеризуються перевищенням гранично допустимих концентрацій фенолів і нафтопродуктів, що є пріоритетним типом забруднення для водойми (Зннан и др., 2014).

Геоекологічний стан Куяльницького лиману сьогодні нестабільний, для нього характерне постійне коливання рівня води, лиман зазнає обміління (рис. 4). Можливими джерелами поповнення вод лиману є живлення підземними водами та морською водою (Черкез та ін., 2017; Медінець та ін., 2017). Основним джерелом забруднення лиману є стічні води Станції біологічної очистки "Північна", у зоні скиду яких до лиману зафіксовано високі концентрації фосфатів і нітратів (Дятлов и др., 2018).

Експедиційні дослідження, проведені у вересні 2020 р. співробітниками Центру проблем морської геології, геоекології та осадового рудоутворення НАН України, дозволили визначити деякі особливості сучасного стану донних відкладів південної частини Куяльницького лиману та суміжної акваекосистеми. Зокрема, на відстані кількох метрів від берега, де було відібрано шість зразків донних відкладів, простежується така закономірність – у південній частині донні відклади представлені пелоїдами з домішками раковинного детриту, вище – у південно-східній та південно-західній частинах у відкладах з'являються домішки супіску та піску, ще вище, у південно-західній частині лиману донні відклади представлені мулами сапропелеподібними. До того ж удалось безпосередньо на місці спостереження оцінити деякі параметри води лиману, проби якої були відібрані

в придонній частині (зокрема, водневий показник, окисно-відновний потенціал і температуру). Установлено, що водневий показник води лиману коливається в межах від 6,97 до 8,34 одиниць рН, слід зазначити, що за

даними деяких попередніх досліджень (Нікіпелова, 2011) цей показник для води лиману досягав максимального значення – 7,55.



Рис. 4. Наслідки обміління південної частини Куяльницького лиману:
а – південно-східна частина, б – південно-західна частина

Тилігульський лиман відділений від Чорного моря штучним мілководним каналом. Він входить до міжнародного списку водойм Рамсарської конвенції про захист водно-болотних угідь. Цей лиман є унікальним природним утворенням і має значні рекреаційні ресурси. Він є цікавим об'єктом для туризму, грязьового лікування, а також рибальства. Дані про екологічний стан Тилігульського лиману опубліковано в роботі (Байрактар і Полукарова, 2017). У результаті п'ятирічних спостережень установлено, що лиман зазнає обміління, а солоність лиману збільшилася майже вдвічі. Беззаперечно, це згубно впливає на біорізноманіття.

Лиман Сухий. Основні відомості про геологічну будову та морфологію берегів лиману наведено в роботах (Зенкович, 1960; Шнюков, 1984). Частково дані про рельєф дна уточнено в публікації (Стоян і др., 2017), колективом авторів встановлено основні морфометричні характеристики верхньої частини лиману. Цими ж авторами пізніше досліджено основні закономірності просторового розподілу гідрологічних елементів (прозорість, солоність, температура) у середній частині лиману (Муркалов і др., 2018). Донні відклади лиману забруднені переважно нафтопродуктами, фенолами та хлороорганічними пестицидами (Мезенцева, 2005; Павлютина і др., 2005), а його порушений екологічний стан значною мірою пов'язаний з утрудненим водообміном акваторії лиману з морем.

Тузлівська група лиманів і Будацький лиман. Лимани Шагани, Алібей, Бурнас, Хаджидер, Карачаус, Сасик, Малий Сасик, Джантшей входять до лиманів Тузлівської групи і належать до лиманів переважно закритофільтраційного типу. В умовах практичної відсутності водообміну з морем і зростаючого антропогенного навантаження екологічний стан лиманів цієї групи погіршується (Мінічева та Соколов, 2014; Соколов, 2014, 2015). Грязі групи лиманів Сасик, Алібей, Бурнас, а також Будацького лиману мають сприятливі характеристики для бальнеологічного лікування.

Питання екологічного стану цих лиманів сьогодні стоїть надзвичайно гостро. За результатами опробування донних відкладів лиману Сасик (за мережею 31 станції, протягом 2018–2019 рр.) зафіксовано вміст важких металів, який на деяких ділянках акваторії значно перевищує кларкові та фонові значення. Серед важких металів, які тут містяться у підвищеній кількості, присутні Pb, Ni, Cu, Cr. За допомогою обробки даних засобами ГІС удалося встановити закономірності просторового поширення цих металів. Свинець є важким металом, що належить до I класу небезпечності, його підвищений вміст установлений в 19 пробах донних відкладів лиману (рис. 5). Такі

елементи, як Cr і Ni, зафіксовані в районі Дунайського каналу, у центральній та верхній (у місці сполучення лиману з річками Когильник і Сарата) частинах лиману. Імовірно, що джерелом їхнього надходження можуть бути саме канал або річки.

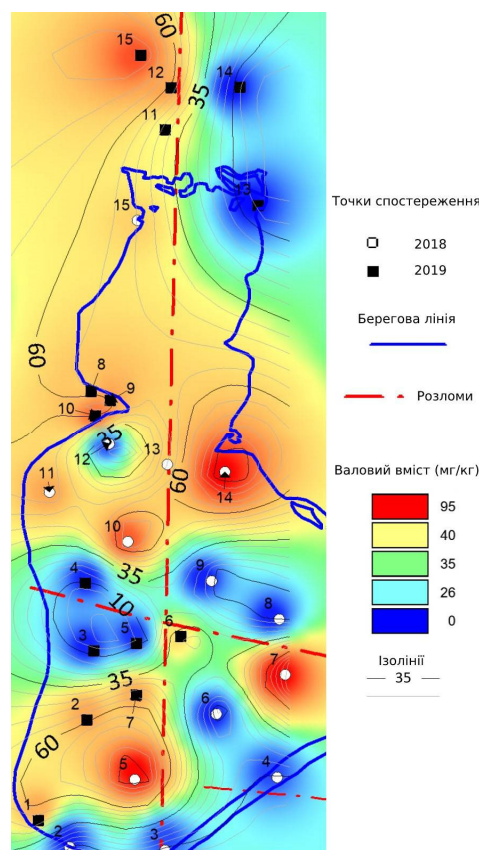


Рис. 5. Вміст Pb у донних відкладах лиману Сасик

Щодо обміління лиманів Тузлівської групи, яка включає водойми Шагани, Алібей, Бурнас і ряд дрібних лиманів, слід зазначити, що негативний вплив клімату на водний баланс цих лиманів теж посилюється водогосподарською діяльністю. Зокрема, ідеться про штучний незаконно побудований кооперативом "Граніт-2" канал, який був створений начебто для ефективного водообміну лиманів цієї групи з морем, але насправді служить засобом для вилову риби (у тому числі із заповідної зони). За час дії цього каналу площа водного дзеркала лиманів не збільшилась, а навпаки зменшилась і продовжує зменшуватись (Русев і др., 2020). Для

дослідження зміни берегової лінії та площі окремих лиманів цієї групи використано космічні знімки супутникових систем SENTINEL-2A (2015) та SENTINEL-2B (2020) (рис. 6). Використано систему координат – WGS-84-UTM-Zone 35N та WGS-84-UTM-Zone 36N.

Векторизація берегової лінії лиманів Бурнас, Хаджидер і Карачаус та аналіз векторних даних дозволили

проаналізувати зміни її морфології за час дослідження і зробити висновки щодо динаміки цих змін (рис. 7).

За допомогою функціоналу щодо розрахунків геометричних параметрів в атрибутивних таблицях даних для кожного об'єкта було розраховано їхні площі та визначено зміни площ лиманів за п'ять тестових років (табл. 1).

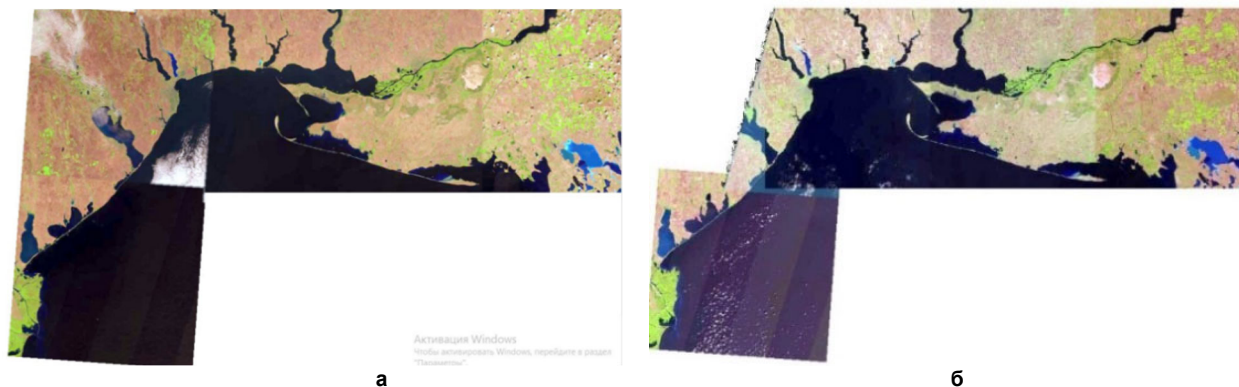


Рис. 6. Зміни морфології берегової лінії лиманів північно-західного узбережжя Чорного моря (космічні знімки супутникових систем Sentinel-2A (2015) (а) і Sentinel-2B (2020) (б))

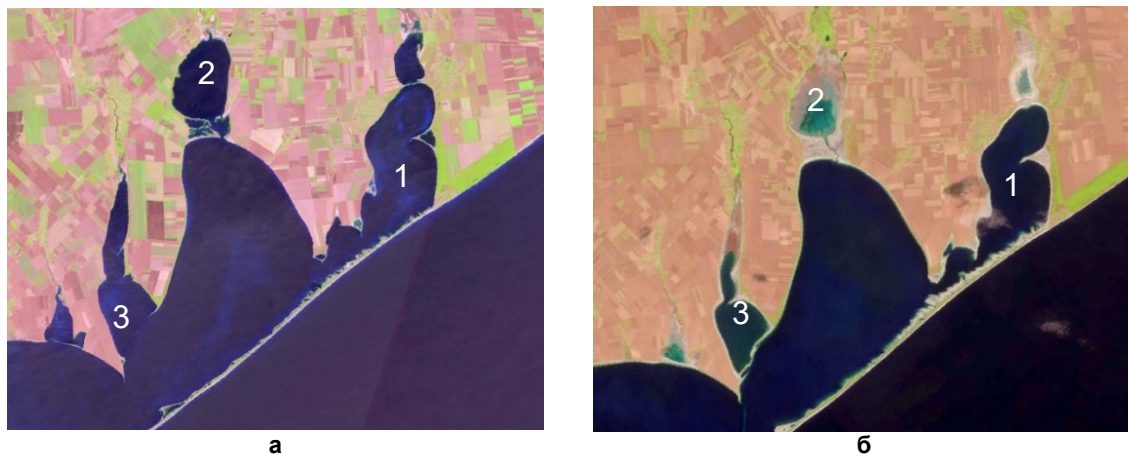


Рис. 7. Морфологічні зміни берегової лінії та площ лиманів Бурнас (1), Хаджидер (2) і Карачаус (3) протягом 2015–2020 рр.: а – 2015 р., б – 2020 р.

Таблиця 1

Зміни площ лиманів Бурнас, Хаджидер і Карачаус (2015–2020)

№	Назва лиману	Площа (м ²)	Площа (км ²)	Рік
1	Бурнас	31158655	31,587	2015
		24287066	24,287	2020
	Різниця		7,3 км ²	
2	Хаджидер	11647511	11,648	2015
		2474022	2,474	2020
	Різниця		9,174 км ²	
3	Карачаус	12281023	12,281	2015
		7825620	7,826	2020
	Різниця		4,455 км ²	

За результатами досліджень визначено, що площа лиманів за зазначений період значно зменшилась і відбулась істотна зміна берегової лінії. Найбільших змін (зменшення площ) зазнали лимани Сухий, Малий Сасик і Бурнас, а лиман Хаджидер майже зник. Лиман Карачаус зменшився за площею на 4,455 км², лиман Бурнас – на 7,3 км², а площа лиману Хаджидер скоротилась до 2,474 км² (у 2015 – 11,648 км²). Головними чинниками зменшення площ лиманів слід вважати гідрометеорологічні, геолого-геоморфологічні та антропогенні.

Перспективні напрями подальших досліджень. Зважаючи на те, що в останні десятиріччя зріс рівень

антропогенного навантаження на екосистеми лиманів, гостро постають питання про більш глибоке, системне і комплексне вивчення цих природних утворень, а також про організацію моніторингу стану їхніх екологічних умов. Ці заходи необхідні для збереження та раціонального використання їхніх ресурсів в інтересах сталого соціально-економічного розвитку України, підвищення її морського потенціалу. Вважаємо перспективним дослідження лиманів крізь призму нової парадигми, яка може спиратися на теоретико-методологічні засади морської геоecології, їхні основні концепції, положення та підходи (Емельянов, 2003). За цією парадигмою для

підкреслення значення саме "геологічного" у виникненні та розвитку природних морських систем, термін і традиційне поняття "морська екосистема" замінюється на термін і поняття "морська геоекосистема". Слід наголосити, що морська геоекосистема розглядається як поняття триєдине і об'єднує в собі три геоекологічні (від грец. γῆ "Земля") субсистеми, в основі яких – їхні системоутворювальні середовища: повітряне (від латин. aër і дав.-грец. ἀήρ – повітря), водне (від лат. aqua – вода) і геологічне (від дав.-грец. γῆ і грец. ge – Земля) – відповідно аероекосистему, акваекосистему і геологічну екосистему. Тобто, коли ми говоримо про геоекосистему лиману, ми маємо на увазі сукупність трьох її субсистем – аеро-, аква- і геологічної.

Використання геоекологічної парадигми вимагає детального аналізу всіх трьох складових геоекосистеми лиманів. Такий підхід передбачає комплексний аналіз усіх компонентів системи, ураховуючи геологічні, геохімічні, екологічні, гідробіологічні, гідрологічні та інші особливості об'єкта з обов'язковим урахуванням антропогенного компонента. Вважаємо, що важливим кроком у напрямку реалізації геоекосистемної парадигми в дослідженні лиманів з боку держави стало б прийняття Державної цільової науково-технічної програми "Відновлення морської науково-дослідницької інфраструктури та комплексні дослідження Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану з метою їхнього збереження та раціонального використання їхніх ресурсів в інтересах сталого розвитку і зміцнення морського потенціалу України" на 2020–2030 рр. Однією із важливих складових такої програми мав би стати розділ: "Комплексні дослідження геоекосистем лиманів та інших приморських водойм України як важливої складової геоекосистеми Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану з метою їхнього збереження та раціонального використання їхніх ресурсів в інтересах сталого розвитку та зміцнення морського потенціалу держави" на 2020–2030 рр. Зазначимо, що цю парадигму вже доволі успішно використано для аналізу Чорноморського шельфу в межах України і глибоководної частини Чорного моря, передусім у межах економічної зони нашої держави (Емельянов, 2003; Емельянов і др., 2004; Прохорова, 2013).

Зрозуміло, що проблема зростання антропогенного і техногенного навантаження на геоекосистему водних об'єктів є актуальною не лише для лиманів та інших водойм України, а має насправді глобальні масштаби. З огляду на комплексність, дана схема досліджень активно використовується у світі, зокрема для комплексної оцінки водних басейнів США, Бразилії, Індії та деяких інших країн. Зберігаючи свої основні принципи досліджень, геоекологічний підхід дає можливість розв'язувати різні проблеми у сфері природокористування (Schmitt et al., 2017; Balram et al., 2013; Silva et al., 2011).

Висновки. Причорноморські лимани – це унікальні природні утворення, які мають велике геоекологічне та рекреаційне значення. Незважаючи на їхню надзвичайну цінність, екологічний стан цих лиманів є майже критичним, що вимагає розробки дієвих заходів щодо їхнього збереження та відновлення геоекологічної рівноваги. Визначено сучасний стан і проблемні ситуації у вивченні їхньої морфології, динаміки та режиму, підкреслено існуючі проблеми для кожного окремого лиману. На основі проведених польових геолого-геоморфологічних досліджень і даних ДЗЗ охарактеризовано особливості гравітаційних геологічних процесів у межах узбережних зон і проаналізовано зміни морфології берегової лінії та площ лиманів протягом 2015–2020 рр.

Геоекосистема майже всіх лиманів характеризується критичним екологічним станом, який підтверджений наявними літературними матеріалами та сучасними дослідженнями донних відкладів деяких лиманів, що вимагає більш детального їхнього вивчення для пошуків можливих шляхів поліпшення ситуації. Ураховуючи необхідність саме комплексного аналізу, а також існуючі успішні приклади, подальші дослідження лиманів пропонуються проводити, базуючись на принципах геоекологічної парадигми, тобто розглядати кожен лиман і природний приморський водний басейн Причорномор'я та Приазов'я, з одного боку, як цілісну геоекологічну геоекосистему, з іншого – як субсистему Чорного моря і далі – Океану, яка сформувалася і функціонує в регіоні, що розглядається, на межі "суходіл – море", та являє собою унікальний геоекотон (перехідна зона "континент–океан"). Геоекосистемна парадигма разом з еколого-економічним підходом дозволять детально і повно вивчати геоекологічні умови акваторій і суміжних територій та оцінювати їхні геоекосистеми з позиції перспектив надання ними певних послуг суспільству.

Список використаних джерел

- Адобовский, В.В., Большаков, В.Н. (2005). Влияние климатических факторов на водообмен Тилигульского лимана с морем. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*, 12, 70–75.
- Андреева, О.А. (2011). Ландшафтно-географічні та екологічні фактори диференціації прибережно-морських територій і акваторій України: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11. – Сімферополь.
- Антонович, В.П., Андронати, С.А. (2015). Результаты химико-аналитического изучения рапы и пелоидов Куяльницкого лимана в начальный период его заполнения морской водой. Всеукр. наук.-практ. конф. "Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого та Хаджибейского лиманів, території міжліманя: сучасний стан, перспективи розвитку", 18–20 листоп., Одеса, 13–15.
- Байрактар, В.Н., Полукарова, Л.А. (2017). Экологическое состояние Тилигульского лимана и его рекреационных участков. *Экосистемы*, 12, 64–71.
- Березницкая, Н.А. (2009). Основные закономерности распределения взвеси в воде Днестровского лимана, побережье Черного моря. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*, 849, 41–49.
- Бурксер, Е.С. (1953). Одесские лиманы (гидрохимические исследования). Петрография, минералогия, геохимия; вып. 2. Киев: Издательство Академии наук Украинской ССР.
- Вериги, А.А. (1880). Исследование Одесских целебных лиманов и грязей. Одесса: Тип. Л. Нитче.
- Виноградов, К.А. (1958). Очерки по истории отечественных гидробиологических исследований на Черном море. Киев: Издательство Академии наук Украинской ССР.
- Герасимюк, В.П. (2018). Микроскопические водоросли лиманов северо-западного Причерноморья (Украины). *Альгология*, Т.28, 2, 169–181.
- Гранова, А.К., Волинська, В.О. (2014). Геологічна будова узбережжя кайнозойських відкладів Сасицького лиману (північно-західне Причорномор'я). *Геологічний журнал*, 3, 39–44.
- Гриб, О.М. (2015). Оцінка рівнів та мінералізації води Куяльницького лиману при його поповненні водами Чорного моря. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 36, 93–101.
- Дятлов, С.Е., Кошелев, А.В., Запорожец, С.А., Лукьянова, Е.А. (2018). Одесские лиманы: современное состояние и перспективы их использования и охраны. *Вода: Гигиена и экология*, 1, 62–68.
- Емельянов, В.А. (2003). Основы морской геоэкологии: теоретико-методологические аспекты. Київ: Наукова думка.
- Емельянов, В.А., Митропольский, А.Ю., Наседенко, Е.И. и др. (2004). Геоэкология Черноморского шельфа Украины. Киев: Академперіодика.
- Зенкович, В.П. (1960). Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Т. II (Северо-западная часть). Москва: Издательство Академии наук СССР.
- Карпов, В.А., Татаровский, В.В. (1981). Изучение шельфа Черного моря на участке озера Сасык – Днестровский лиман, 1978–1981 гг. Симферополь: Крымская ГРЭ об-ния Крымгеология.
- Коников, Е.Г. (2013). Геологическая история устьевой части Тилигульского лимана в позднем плейстоцене – голоцене. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 2, 76–86.
- Ломакин, И.Э., Покалюк, В.В., Кочелаб, В.В. (2016). Неотектоническая активность и оползневые процессы в береговой зоне северо-западного Причерноморья. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 3, 95–99.
- Малахов, И.Н., Алехина, Т.Н., Иванченко, В.В. и др. (2010). Условия формирования донных осадков устьевых участков рек Днепровско-

Бугского лимана в условиях антропогенной нагрузки. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 2, 69–78.

Медінець, В.І., Ковальчук, Н.В., Дерезюк, Н.В. та ін. (2017). Біологічні наслідки поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 1, 35–51.

Мезенцева, И.В. (2005). Загрязняющие органические вещества в верхнем слое морских донных отложений по результатам мониторинга на морской сети Гидрометеорологической службы Украины. *Экологическая безопасность прибрежной та шельфовой зон та комплексное использование ресурсов шельфа*, 12, 262–267.

Миронов, О.Г. (ред.). (1990). Лиманы Северного Причерноморья. Киев: Наукова думка.

Мінічева, Г.Г., Соколов, Є.В. (2014). Оцінка природної стійкості лиманів Північно-західного Причерномор'я відповідно до принципів водної директиви. *Наукові доповіді НУБІП України*. Отримано з http://nd.nubip.edu.ua/2014_5/7.pdf.

Моисеенко, О.Г., Орехова, Н.А. (2014). Цикл углерода экосистемы Днепровско-Бугского лимана в 2007 году. *Морской гидрофизический журнал*, 1, 13–27.

Молодецкий, А.Е., Пышная, А.А. (2014). Бальнеологические, бальнеогрязевые и климатические рекреационные ресурсы северо-западного Причерноморья в курортной функции региона. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*, 17, 4, 157–175.

Морозова, А.А. (2008). Оценка стока растворенного и взвешенного железа из Днепровско-Бугского устьевой области в Черное море. *Наук.праці УкрНДГМІ*, 257, 181–190.

Муркалов, А.Б., Стоян, А.А., Скаленчук, Е.В. (2018). Пространственное распределение гидрологических элементов в средней части Сухого лимана в летний период. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*, 23, 1, 33–41.

Нікіпелова, О.М. (2011). Коліодно-хімічні властивості мулових пелюїдних систем та основні принципи їх регулювання. *Дис. ... д-ра хім. наук: 02.00.17*. Київ.

Павлютина, Л.П., Подплетная, Н.Ф., Савин, П.Т. и др. (2005). Характеристика экологического состояния Сухого лимана. *Екологічна безпека прибережної та шельфовой зон та комплексне використання ресурсів шельфу. Збірник наукових праць*, 12, 120 – 128.

Попов, Г.И., Есько, Б.Г. (1986). Новые данные по стратиграфии донных отложений Днепровского лимана. *Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода*, 55, 94–97.

Прохорова, Л.А. (2013). Геоэкологичні умови Українського сектору глибоководної зони Чорного моря. *Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.10*. Київ.

Русев, И., Попова, Е., Русев, Р. (2020). Системные нарушения действующего законодательства Украины по использованию водных биологических ресурсов и их последствия на примере национального природного парка "Тузловские лиманы". *Международ. конф. "Евроинтеграция и управление бассейном Днестра"*, 8–9 окт. 2020 г., Кишинёв, 267–272.

Совга, Е.Е., Мезенцева, И.В., Любарцева, С.П. (2012). Научное обоснование нормирования сбросов загрязняющих веществ импактных районов Черного моря на примере Днепровского лимана и акватории порта Одесса. VII Междунар. конф. "Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона", 22-23 июня. 2012 г., Керчь, 233–239.

Соколов, Е.В. (2014). Интегрально-диагностическая оценка экологического состояния Тилигульского лимана. *Наукові записки ТНПУ. Сер.: Біологія*, 4, 71–80.

Соколов, Є.В. (2015). Екосистема лиманів північно-західного Причерномор'я: цілісна оцінка і підходи до управління. *Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.17*. Одеса.

Стоян, А.А., Муркалов, А.Б., Скаленчук, Е.Ф. (2017). Морфометрия и динамика дна верхний Сухого лимана. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*, 22, 1, 52–61.

Черкез, Є.А., Медінець, В.І., Тюрєміна, В.Г., Праведний, В.М. (2017). Оцінка обсягів субаквального живлення Куяльницького лиману підземними водами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 3–4 (28), 57–65.

Чигрин, Р.Г. (1990). Современное осадкообразование в лиманах и заливах Северо-Запада Черного моря. : *дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.21*. Киев.

Шапарь, А.Г., Скрипник, О.А., Емец, Н.А. (2013). Особенности влияния технокосистемы бассейна р. Днепр на шельф Черного моря. *Екологічна безпека прибережної та шельфовой зон та комплексне використання ресурсів шельфу*, 27, 231–236.

Шихалеева, Г.Н., Эннан, А.А., Чурсина, О.Д., Шихалеев, И.И., Кузьмина, И.С. (2012). Исследования уровня загрязнения тяжелыми металлами донных отложений Куяльницького лимана. *Вісник ОНУ. Сер. Хімія*, 44, 70–77.

Шнюков, Е.Ф. (ред.). (1984). Геология шельфа УССР. Лиманы. Киев: Наукова думка.

Шуйский, Ю.Д. (2009). О результатах географических исследований Днепровского лимана на побережье Черного моря. *Причерноморский экологический бюллетень*, 1, 55–78.

Шуйський, Ю.Д., Березницька, Н.О., Гижко, Л.В., Муркалов, О.Б. (2008). До питання про природу Дністровського лиману на узбережжі Чорного моря. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, 5, 15–27.

Эннан, А.А., Шихалеев, И.И., Шихалеева, Г.Н. и др. (2014). Причины и последствия деградации Куяльницького лимана (северо-западное Причерноморье, Украина). *Вісник ОНУ. Сер.: Хімія*, 3, 60–69.

Balam, R., Ramanaiah, S., Harinath, V. (2013). Geo Environmental Studies of Ganganeru River Basin, Kadapa District, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 458–464.

SASGIS. (н.д.). Веб картографія і навігація. Получено с <http://www.sasgis.org/>.

Schmitt, J.G., Fisher, J.W., Neeley, M.P. et al. (2017). Geocology of the Marias River Canyon, Montana, USA: Landscape Influence on Human Use and Preservation of Late Holocene Archaeological and Vertebrate Remains and Vertebrate Remains. Special Paper 528. Geological Society of America.

Silva, E.V., Gorayeb, A., Meireles, A.A., Rodriguez, J.M. (2011). Landscape Geo-Ecology: Guidelines for the Environmental Management of the Estuarine Zones of the Northern Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, 1420–1424.

References

Adobovskiy, V.V., Bolshakov, V.N. (2005). The influence of climatic factors on the water exchange of the Tiligul estuary with the sea. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*, 12, 70–75. [in Russian]

Andrieva, O.A. (2011). Landscape-geographic and ecological factors of the differentiation of off-shore territories and aquatories of Ukraine. *Extended abstract of Candidate's thesis (Geogr.)*. Simferopol. [in Ukrainian]

Antonovich, V.P., Andronati, S.A. (2015). Results of chemical-analytical study of brine and peloids of the Kuyalnik estuary in the initial period of its filling with sea water. All-Ukrainian scientific-practical conf. "Natural resource potential of Kuyalnik and Khadzhibey estuaries, inter-estuary territories: current state, development prospects", 18–20 nov., Odessa, 13–15. [in Russian]

Balam, R., Ramanaiah, S., Harinath, V. (2013). Geo Environmental Studies of Ganganeru River Basin, Kadapa District, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2, 458 – 464.

Bayraktar, V.N., Polukarova, L.A. (2017). Ecological status of the Tiligul estuary and its recreational areas. *Ecosystems*, 12, 64–71. [in Russian]

Bereznytskaya, N.A. (2009). Basic peculiarities of suspension distribution in water of Dniestrovskiy Liman on the Black Sea coast. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University*, 849, 41–49. [in Russian]

Burks, E.S. (1953). Odessa estuaries (hydrochemical research). Petrography, mineralogy, geochemistry; release 2. Kiev: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. [in Russian]

Черкез, Ye.A., Medinets, V.I., Tyuremina, V.G., Pravodny, V.M. (2017). Assessment of volume of the Kuyalnik estuary subaqueous feeding with groundwater. *Man and environment. Issues of neocology*, 3–4 (28), 57–65. [in Ukrainian]

Chigrin, R.G. (1990). Modern sedimentation in estuaries and bays of the North-West of the Black Sea. *Thesis ... Cand. Sci. (Geol.-Min.)*. Kiev. [in Russian]

Dyatlov, S.E., Koshelev, A.V., Zaporozhets, S.A., Lukyanova, E.A. (2018). Odessa lemans: the current state and perspective of their use and protection. *Water: hygiene and ecology*, 1, 62-68. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2567519>. [in Russian]

Emelyanov, V.A. (2003). Basics of Marine geocology. Theoretical and methodological aspects. Kiev: Naukova Dumka. [in Russian]

Emelyanov, V.A., Mitropolskij, A.Yu., Nasedkin, E.I. et al. (2004). Geocology of the Black Sea shelf of Ukraine. Kiev, Akademperiodika. [in Russian]

Ennan, A.A., Shihaleev, I.I., Shihaleeva, G.N. et al. (2014). Effects of Kuyalnik estuary degradation (northwest Black sea region, Ukraine). *ONU Herald. Series: Chemistry*, 3, 60–69. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3\(51\).40404](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3(51).40404). [in Russian]

Gerasimuk, V.P. (2018). Microalgae of the north-western Black Sea coast estuaries (Ukraine). *Algologia*, 28, 2, 169–181. <https://doi.org/10.15407/alg28.02.169> [in Russian]

Granova, A.K., Volynskaya, V.O. (2014). Geological structure of the Cainozoic deposits of the Sasyk estuary coast (the north-west Near Black region). *Geological Journal*, 3, 39–44. [in Ukrainian]

Hryb, O.M. (2015). The evaluation of levels and water mineralization of the Kuyalnickiy liman when its replenishment waters of Black Sea. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 36, 93–101. [in Ukrainian]

Karpov, V.A., Tatarovskiy, V.V. (1981). Izuchenie shelfa Chernogo morya na uchastke ozera Sasyk – Dnestrovskiy liman, 1978–1981 gg. Simferopol: Krymskaya GRE ob-niya Kryimgelogiya. [in Russian]

Konikov, E.G. (2013). Geologic history of embouchure part of the Tiligulskiy liman in the late pleistocene – holocene. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 2, 76–86. [in Russian]

Lomakin, I.E., Pokalyuk, V.V., Kochelab, V.V. (2016). Neotectonic activity and landslides processes in the coastal zone of the NW Black Sea. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 3, 95–99. [in Russian]

Malahov, I.N., Alehina, T.N., Ivanchenko, V.V. et al. (2010). Conditions for the formation of bottom sediments of the river estuaries of the Dnieper-Bug Liman under conditions of anthropogenic load. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 2, 69–78. [in Russian]

Medinets, V.I., Kovalova, N.V., Dereziuk, N.V. et al. (2017). Biological consequences of Kuyalnik estuary filling with marine water from Odessa Bay. *Man and environment. Issues of neocology*, 1, 35–51. [in Ukrainian]

Mezenczeva, I.V. (2005). Organic pollutants in the upper seabed sediments as a result of monitoring by the Marine Network of the Hydrometeorological

Service of Ukraine. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*, 12, 262–267. [in Russian]

Minicheva, H.H., Sokolov, Ye.V. (2014). Estimation of the Natural Resistance of Northwestern Prichernomorie Region's Estuaries in Accordance with a Principles of EU WFD. *Scientific reports of NULES of Ukraine*. Retrieved from http://nd.nubip.edu.ua/2014_5/7.pdf.

Moiseenko, O.G., Orekhova, N.A. (2014). Carbon cycle of the ecosystem of the Dnieper-Bug estuary in 2007. *Physical Oceanography*, 1, 13–27. [in Russian]

Molodeczkij, A.E., Pyshnaya, A.A. (2014). Balneologic, balneomud and climatic recreational resources north-western Black sea coast in resort function of region. *ONU Herald. Series: Geographical and geological sciences*, 17, 4, 157–175. [in Russian]

Morozova, A.A. (2008). Estimation of the runoff of dissolved and suspended iron from the Dnieper-Bug estuary area into the Black Sea. *Scientific works of UkrNDGMI*, 257, 181–190. [in Russian]

Murkalov, A.B., Stoyan, A.A., Skalenchuk E.V. (2018). Spatial distribution of hydrological elements characteristic in the middle part of the Sukhoi liman in the summer time. *ONU Herald. Series: Geographical and geological sciences*, 23, 1, 33–41. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1\(32\).141943](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1(32).141943). [in Russian]

Myronov O.H. (1990). Estuaries of the Northern Black Sea region. Kyiv: Naukova Dumka. [in Russian]

Nikipelova, O.M. (2011). Colloid-chemical properties of silt peloid and basic principles of their regulation. *Thesis ... Dr. Sci. (Chem.)*. Kiev. [in Ukrainian]

Pavlyutina, L.P., Podpletnaya, N.F., Savin, P.T. et al. (2005). Description of ecological status of the Sukhoi Liman. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*, 12, 120–128. [in Russian]

Popov, G.I., Esko, B.G. (1986). New data on stratigraphy of Dnieper Liman sediments. *Bulletin of the Commission for study of the Quaternary*, 55, 94–97. [in Russian]

Prokhorova, L.A. (2013). Geoecological conditions of Ukrainian sector of the Black Sea deep-water areas. *Thesis ... Cand. Sci. (Geol.)*. Kiev. [in Ukrainian]

Rusev, I., Popova, E., Rusev. (2020). Systematic violations of current Ukrainian legislation on the use of aquatic biological resources and their consequences, using the example of the national natural park "Tuzlovskiy Limans". *International Conference "EU Integration and Management of the Dniester River Basin 2020"*, 8–9 oct, Chisinau, 267–272. [in Russian]

SASGIS. (n.d.). Web mapping and navigation. Retrieved from <http://www.sasgis.org/>.

Schmitt, J.G., Fisher, J.W., Neeley, M.P. et al. (2017). Geoecology of the Marias River Canyon, Montana, USA: Landscape Influence on Human Use and Preservation of Late Holocene Archaeological and Vertebrate Remains and Vertebrate Remains, Special Paper 528. Geological Society of America.

Shapar, A.G., Skripnik, O.A., Emets, N.A. (2013). Features of the influence of the technoeosphere of the river basin Dnieper to the Black Sea shelf. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*, 27, 231–236. [in Russian]

Shihaleeva, G.N., Ennan, A.A., Chursina, O.D., Shihaleev, I.I., Kuzmina I.S. (2012). Study of the Kuyalynk estuary bottom sediments pollution by heavy metals. *ONU Herald. Series: Chemistry*, 44, 70–77. [in Russian]

Shnyukov, E.F. (Eds.). (1984). Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Estuaries. Kiev: Naukova Dumka. [in Russian]

Shuisky, Yu.D., Bereznytska, N.O., Hyzhko, L.V., Murkalov, O.B. (2008). On the question of the nature of the Dniester estuary on the Black Sea coast. *Ecology of the environment and safety of life*, 5, 15–27. [in Ukrainian]

Shuisky, Yu.D. (2009). On geographical research results of Dniestroskiy liman on the black sea coast. *Prichernomorskiy ekologicheskii byulleten*, 1, 55–78. [in Russian]

Silva, E.V., Gorayeb, A., Meireles, A.A., Rodriguez, J.M. (2011). Landscape Geo-Ecology: Guidelines for the Environmental Management of the Estuarine Zones of the Northern Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, 1420–1424.

Sokolov, E.V. (2014). Integrally-diagnostic estimation of the Dofinovskiy Lyman (estuary) ecosystem. *Scientific Issues of TNPU. Series: Biology*, 4, 71–80. [in Russian]

Sokolov, Ye.V. (2015). Ecosystems of Estuaries of Northwest Black Sea Region: Integrated Assessment and Management Approaches. *Extended abstract of Candidate's thesis es (Biol.)*. Odessa. [in Ukrainian]

Sovga, E.E., Mezenczeva, I.V., Lyubarczeva, S.P., (2012). Scientific substantiation of the regulation of discharges of pollutants from impact regions of the Black Sea on the example of the Dnieper estuary and the water area of the Odessa port. VII International Conference "Current fishery and environmental problems of the Azov-Black Sea Region", 20–23 June, 2012, Kerch, 233–239. [in Russian]

Stoyan, A.A., Murkalov, A.B., Skalenchuk, E.F. (2017). The upper courses of the Sukhoi Liman bottom morphometry & dynamics. *ONU Herald. Series: Geographical and geological sciences*, 22, 1, 52–61. [in Russian]

Verigo, A.A., (1880). Issledovanie Odesskih tselebnykh limanov i gryazy. Odessa: Tip. L. Nitche. [in Russian]

Vinogradov, K.A. (1958). Essays on the history of domestic hydrobiological research in the Black Sea. Kiev: Izdatelstvo Akademii nauk Ukrainy SSR. [in Russian]

Zenkovich, V.P. (1960). Morphology and dynamics of the Soviet coast of the Black Sea. vol. II (Northwest part), Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. [in Russian]

Надійшла до редколегії 07.04.21

V. Iemelianov¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Chief Researcher, Corresp. Member NAS of Ukraine,

E-mail: eva@nas.gov.ua;

O. Ivanik², Dr. Sci. (Geol), Prof.,

E-mail: om.ivanik@gmail.com;

T. Kulaha¹, PhD student,

E-mail: tatianakulaha@gmail.com;

Ye. Kostyuchyk¹, PhD student,

E-mail: jenyakostyuchik@ukr.net;

A. Drozdova², Student,

E-mail: angelica.drozdova@gmail.com;

¹Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of NAS of Ukraine,

28 Mashynobudivnyi Prov., Kyiv, 03067, Ukraine;

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90 Vasykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOECOLOGICAL RESEARCH OF THE BLACK SEA ESTUARIES AS A COMPONENT OF THE AZOV-BLACK SEA BASIN GEOECOSYSTEM

The Black Sea estuaries are unique natural formations that have great geoecological and recreational importance. But their ecological state is almost critical and requires developing effective measures to preserve them and restore the geoecological balance. On the basis of literary and field materials, the article analyzes the information about the history of research of estuaries within the northwest coast of the Black Sea. The current state and problematic situations in the study of their morphology, dynamics and regime are determined, the current problems for each estuary are emphasized. On the basis of field geological and geomorphological investigations and remote sensing data, the features of gravitational geological processes within the coastal zones are characterized. Changes in the morphology of the coastline and estuary areas during 2015–2020 are analyzed. Modern hydrological characteristics and features of ecological condition of these estuaries are given. Perspectives of further research of these objects are determined. To preserve the natural value of the estuaries as a unique transition zone between sea and land (geocoton), the geoecological research approach is proposed to use.

Keywords: the northwest coast of the Black Sea, estuaries, anthropogenic impact, geoecological approach, geocoton, remote sensing data.

В. Емельянов¹, д-р геол.-минерал. наук, чл.-кор. НАН України,

E-mail: eva@nas.gov.ua;

Е. Иваник², д-р геол. наук, проф.,

E-mail: om.ivanik@gmail.com;

Т. Кулага¹, асп., инж.,

E-mail: tatianakulaha@gmail.com;

Е. Костючик¹, асп., инж.,

E-mail: jenyakostyuchik@ukr.net;

А. Дроздова², магистр,

E-mail: angelica.drozдова@gmail.com;

Центр проблем морской геологии, геоэкологии и осадочного рудообразования НАН Украины,

пер. Мишиностроительный, 28, г. Киев, 03067, Украина;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

НИИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧЕРНОМОРСКИХ ЛИМАНОВ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Причерноморские лиманы – уникальные природные образования, имеющие большое геоэкологическое и рекреационное значение. Несмотря на их чрезвычайную ценность, экологическая ситуация в пределах лиманов является критической, что требует разработки действенных мер по их сохранению и восстановлению геоэкологического равновесия. На основе анализа литературных и фондовых материалов в статье систематизирована информация об истории исследований лиманов северо-западного побережья Черного моря. Определено современное состояние и проблемные ситуации в изучении их морфологии, динамики и режима, подчеркнуты существующие проблемы для каждого лимана. На основе проведенных полевых геолого-геоморфологических исследований и данных ДЗЗ охарактеризованы особенности гравитационных геологических процессов в пределах прибрежных зон, проанализированы изменения морфологии береговой линии и площадей лиманов в течение 2015–2020 годов, приведены современные гидрологические характеристики и особенности экологического состояния этих лиманов. Определены перспективные направления дальнейших исследований этих объектов. С целью сохранения природной ценности лиманов для их дальнейшего изучения обоснован геосистемный подход к исследованию лиманов как уникальной переходной зоны между морем и сушей (геоэкотон).

Ключевые слова: северо-западное побережье Черного моря, лиманы, антропогенная нагрузка, геоэкологический подход, геоэкотон, ДЗЗ.

УДК 55+551.22+552.3+552.163+550.8
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.02>

О. Митрохин, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

ГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РАЙОНУ УКРАЇНСЬКОЇ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ "АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ" ДО 1996 РОКУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Автором складено хронологічний опис історії геологічних досліджень Берега Грея та архіпелагу Вільгельма Західної Антарктики в часовому проміжку з 1819 по 1996 р. Визначається стан геологічної вивченості цього району на момент створення тут Української антарктичної станції "Академік Вернадський" (УАС). Робиться низка висновків стосовно: часової послідовності окремих досліджень і геологічної специфіки охоплених ними площ; умов проведення та особливостей організації польових робіт; достовірності результатів окремих геологічних зйомок; наявності територій недостатньо або зовсім неохоплених дослідженнями. З'ясовано, що всі рекогносцирувальні та геологозйомочні роботи в досліджуваному районі було виконано в 30–50 рр. ХХ ст. Середньомасштабна геологічна зйомка окремих ділянок Берега Грея та прилеглих до них островів здійснювалась за несприятливих умов. Цим обумовлена фрагментарність складених геологічних карт і неоднорідна забезпеченість їх польовими спостереженнями. У зв'язку з поганою льодовою обстановкою та місцевими особливостями організації геологічних маршрутів численні затоки, які заглиблюються в Берег Грея, а також його важкодоступні внутрішні території залишилися зовсім невивченими. Так само не охоплено геолого-зйомочними роботами значну частину островів архіпелагу Вільгельма, особливо тих, що є віддаленими від судноплавних проток Лемер, Пенола та Грандідієр. Єдиною ділянкою, де було виконано великомасштабну геологічну зйомку, є Аргентинські острови. Наявна великомасштабна геологічна карта Аргентинських островів і схеми розчленування місцевих магматичних утворень мають низку суттєвих недоліків. Зокрема, на карту нанесено лише суто петрографічні дані. На ній відсутні елементи залягання порід, тектонічні деформації, зони постмагматичних змін, прояви рудної мінералізації. Просторова розповсюдженість головних петрографічних представників не завжди відповідає дійсності. Відносний вік окремих геологічних тіл недостатньо обґрунтований, а часом взагалі визначений помилково. Усе перелічене пояснює, чому рівень геологічної вивченості району на момент створення тут УАС лишився набагато гіршим порівняно із суміжними територіями.

Ключові слова: геологія, Західна Антарктика, Берег Грея, архіпелаг Вільгельма.

Вступ. Українська антарктична станція "Академік Вернадський" розташована в акваторії Землі Грея Антарктичного півострова. У геологічному відношенні цей регіон належить до мезозой-кайнозойського орогенічного поясу Західної Антарктики. У різні роки він досліджувався британськими, французькими, шведськими, норвезькими, аргентинськими, чилійськими та українськими геологами. Найбільший внесок в його вивчення зробили дослідники Британської антарктичної служби (БАС). Україна розпочала власні наукові дослідження на цій території в 1996 р., коли на базі британської станції "Фарадей" була створена Українська антарктична станція "Академік Вернадський" (УАС). Сьогодні триває вже третя Державна цільова науково-технічна програма досліджень в Антарктиці, яку нещодавно рішенням уряду було продовжено до 2023 р. Для визначення пріоритетних напрямів, завдань і заходів цієї Програми, а також для планування майбутніх досліджень конче необхідно розуміти нинішній стан вивченості району УАС.

Метою даної роботи було складання хронологічного опису історії геологічних досліджень району УАС у часовому проміжку з 1819 по 1996 р., оцінка стану геологічної вивченості цієї території до моменту створення УАС, порівняння із суміжними територіями, особливо тими районами Землі Грея, що вважаються найкраще вивченими в геологічному відношенні.

Загальна характеристика району Української антарктичної станції. Українська антарктична станція "Академік Вернадський" розташована на острові Галіндез, що належить до острівної групи Аргентинські острови з архіпелагу Вільгельма Західної Антарктики (рис. 1). На схід від УАС розташовано материкове узбережжя – Берег Грея Антарктичного півострова. Берегом Грея (Graham Coast) звать частину західного узбережжя Землі Грея між мисами Ренарда та Белю. Натомість, Землю Грея (Graham Land) нині

називають усю північну частину Антарктичного півострова, його південна частина зветься Землею Палмера, хоча до 1964 р. британські географи використовували найменування "Земля Грея" для позначення всього півострова. Протоки Лемера та Пенола відокремлюють Берег Грея від архіпелагу Вільгельма. Крім Аргентинських островів, архіпелаг Вільгельма об'єднує цілу низку інших островів та острівних груп, розкиданих уздовж Берега Грея, починаючи від протоки Бісмарка на півночі аж до Саузвінд Песедж на півдні. Найбільші острови архіпелагу Вільгельма – о. Бус та о. Ховгаард розташовані на північний схід від УАС. Найбільш видатними острівними групами архіпелагу є острови Веверман, Даннеброг, Ведель, Рока, Крулс, Анаграм, Ялур та Аргентинські острови. Крайньою південною точкою архіпелагу вважається скеля Люмус Рок, крайньою північною – о. Тангент. Ще далі на північ, за протокою Бісмарка, розпочинається архіпелаг Палмера з величезними островами Анверс, Вінке, Брабант та ін. На південний захід від архіпелагу Вільгельма розташовані острови Біско. Історія геологічних досліджень, що виконувались на території Землі Грея до кінця 50-х рр. минулого сторіччя, охарактеризована в роботах (Adie, 1957 b; 1958). Більш пізні узагальнення такого типу наразі відсутні. Відповідно, майже 40-річний період геологічних досліджень у регіоні, що передував створенню тут УАС, зовсім не висвітлений у спеціальній літературі.

Відкриття Землі Грея та її дослідження під час "Героїчної епохи освоєння Антарктики". Не всім відомо, що перше спостереження антарктичного суходолу відбулося 19 лютого 1819 р. У цей день з борту британського торговельного бригу "Вільямс", яким командував капітан Вільямс Сміт, люди вперше побачили узбережжя Південних Шетландських островів (Miers, 1820). У цьому ж році, восени, під час своєї третьої подорожі на південь В. Сміт провів більш ретельне

обстеження нововідкритих земель. Зокрема, були приблизно нанесені на карту обриси північних узбереж найбільш примітних островів. 16 жовтня 1819 р. британські моряки здійснили першу висадку на найбільший з островів, пізніше названий о. Кінг Джордж. Так було вперше відкрито суходіл південніше широти 60°, по якій нині проводять границю Антарктики відповідно до Антарктичного договору. Інженер Дж. Мієрс, який 1820 р. опублікував доповідь про відкриття В. Сміта, відмітив, що, судячи з опису помічника капітана, скелясте

узбережжя на місці висадки може складатися хлоритовими сланцями. Сьогодні відомо, що о. Кінг Джордж складається переважно магматичними породами. Принагідно додамо, що з геологічної точки зору Південно-Шетландська острівна дуга є частиною континенту Антарктида. Від "мейнленду" Антарктичного півострова цю дугу відділяє лише позадуговий рифтовий басейн протоки Брансфільда, який характеризується субконтинентальним типом земної кори.



Рис. 1. Місце розташування Української антарктичної станції "Академік Вернадський": о. Галіндез, архіпелаг Вільгельма, західна акваторія Землі Грея Антарктичного півострова. Зображення Аргентинських островів 1971 року скопійовано у фотоархіві британської станції "Фарадей"

Найбільш північну частину "мейнленду" Антарктичного півострова було відкрито в 1820 р. під час експедиції Едварда Брансфільда та Вільяма Сміта (Bole, 1821). 31 січня 1820 р. у бортовому журналі експедиції зафіксовано спостереження підвищеного суходолу вкритого снігом південніше широти 63°29'. Приблизні обриси відкритого узбережжя були нанесені на карту, сам суходіл отримав найменування Земля Триніті (Trinity Land). На сучасних картах він позначається як півострів Триніті, який утворює північне закінчення Землі Грея Антарктичного півострова. УАС розташовується на відстані більше 400 км південніше півострова Триніті.

23 та 29 січня 1821 р. експедиція Ф. Беллінсгаузена відкриває та наносить на карту перші ділянки суходолу за південним полярним колом – о. Петра-I та Землю Олександра-I. Значно пізніше було з'ясовано, що Земля Олександра-I являє собою величезний острів, який відокремлюється від "мейнленду" Антарктичного півострова вузькою протокою, вкритою льодом. Острів Олександра-I розташований майже на 500 км південніше від УАС.

Берег Грея (первинна назва – Graham's Land) уперше побачили з борту корабля Дж. Біско в 1832 р. (Biscoe, 1833). Дж. Біско третім після Дж. Кука та

Ф. Беллінсгаузена здійснив навколоантарктичну подорож. Під час цієї подорожі в лютому 1832 р. було відкрито острів Аделаїди та групу островів, які пізніше отримали найменування острови Біско. У цей же час було зафіксовано перше спостереження Землі Грея, біля узбережжя якої нині розташована Українська антарктична станція "Академік Вернадський". І, нарешті, 21 лютого 1832 р. було здійснено першу висадку на нововідкриту землю (main-land), яка виявилась узбережжям острова Анверс з архіпелагу Палмера. Із цього часу Graham Land з'явилася на географічних картах Південної півкулі. Архіпелаг Вільгельма (Kaiser Wilhelm Islands) був відкритий значно пізніше, у 1874 р. під час плавання Е. Даллмана (Petermann, 1875 a; Barr et al., 2004). У 1875 р. відомий німецький географ А. Пітерманн опублікував чергову географічну карту Південної полярної області, на якій вперше були нанесені острови Кайзера Вільгельма, зокрема, о. Пітерманн, о. Крогманн (нині – Ховгаард), о. Фрайдберг, о. Бус та ін (Petermann, 1875 b). Напевно, це перше картографічне зображення району, де сьогодні розташована Українська антарктична станція "Академік Вернадський" (рис. 2).



Рис. 2. Еволюція картографічних зображень архіпелагу Вільгельма та прилеглої узбережжя Землі Грея з часів їхнього відкриття до початку XX сторіччя:

a – Peterman (1875b); b – Arctowski (1901b); c – BAE (1904); d – Charcot (1906)

У 1898 р. протоками, що відокремлюють архіпелаги Палмера та Вільгельма від узбережжя Антарктичного півострова, уперше пройшла "Belgica" – судно Бельгійської антарктичної експедиції під керівництвом А. Герлаша (BAE, 1904). Науковці цієї експедиції відкрили та ретельно дослідили протоку, яку нині іменують протокою Герлаша, а також прилегло до неї узбережжя Землі Данко (нині – Берег Данко), тобто територію, що розташована північніше району УАС. Лише одну добу 12 лютого 1898 р. "Belgica" рухалась нововідкритою протокою Лемаера, яку гідрограф експедиції Г. Лекоінт простягав до широти мису Расмуссена (65° 13'S). Далі, зіткнувшись із занадто важкими льодовими умовами, експедиція повернула на південний захід. Тим не менш, на навігаційній карті, що була складена за результатами експедиції А. Герлаша, були грубо намальовані лінія узбережжя Землі Грея та найбільші острови (BAE, 1904). На мейнленді помічені найбільш примітні миси, яким присвоєні найменування Renard, Cloos, Dusseberg, Rasmussen, Tuxene та Trooz. Сусідні з ними острови отримали спільне найменування Iles Danebrog. Серед них власні назви було надано островам Wandel (нині – Бус), Novgaard, Vedel, Lund (нині – Пітерман). Відомо, що науковці цієї експедиції здійснили лише одну висадку на "мейнленді" Берега Грея в районі мису Ренарда (рис. 3). Геолог експедиції Генрік Арцтовський, охарактеризував геоморфологічні особливості місця висадки, характер корінних виходів гірських порід і притаманну їм окремість, але навіть попередньо не визначив їхнє петрографічне найменування (Arctowski, 1901a). Ранком 13 лютого 1898 р. "Belgica" була між мисом Туксен та Аргентинськими островами, від о. Галіндес її відокремлювало близько 3 км. Мабуть учасники експедиції бачили цю острівну

групу. Їхнє дуже приблизне розташування розпізнається на вже згадуваній навігаційній карті, де вони зображені у вигляді невеликих безіменних цяток.

У 1901–1903 рр. дослідженням північно-східної частини Землі Грея займалася Шведська антарктична експедиція під керівництвом О. Норденшельда (Nordenskiöld, 1904 a, b). У районі зимівлі О. Норденшельд виконав геологічні дослідження на островах Сноу Хілл, Сеймур, Кокбур і Джеймса Роса, зокрема, вивчив стратифіковані осадові відклади, в яких описав багату викопну фауну та флору третинно-крейдового віку. Здійснивши санну подорож на південь від місця зимівлі, О. Норденшельд з двома супутниками досяг Берега Оскара-II, тобто території, розташованої на схід від Берега Грея, по інший бік Антарктичного півострова. У результаті було складено географічну карту східного узбережжя Антарктичного півострова до широти 66°, відкрито існування шельфового льодовика Ларсена та загаслого базальтового вулкана в острівній групі Сил Нунатак, а також виявлено виходи кварцових порфірів у районі Нунатака Борхгревінка, що на півострові Джейсона. У районі Хоуп Бей, де вимушено зимували ще троє учасників експедиції, Дж. Андерссон відкрив осадові відклади з юрською викопною флорою. Після завершення експедиції було опубліковано першу узагальнювальну роботу "On the geology of Graham Land" (Anderson, 1906), де описано геологічні розрізи затоки Хоуп Бей та району островів Джеймса Роса, які досі вважаються стратотиповим. Зокрема, у розрізі Хоуп Бей описано: нижню товщу граувак, середню товщу темних глинистих сланців з юрською флорою, верхню товщу вулканічних туфів. У цьому ж районі, а також на північно-західному узбережжі Землі Грея виявлено значний розвиток гранітів, діоритів і габро, які Дж. Андерсон корелює з Андійськими виверженими

породами. У районі зимівлі Норденшельда виділяються: крейдові теригенні відклади островів Сноу-Хілл і Сеймур, третинні теригенні відклади острова Сеймур і неогенова вулканічна формація острова Роса.

На початку XX ст. відбулися дві французькі антарктичні експедиції під керівництвом Ж.Б. Шарко. Дослідження на Архіпелазі Вільгельма та сусідньому узбережжі Землі

Греяма виконувалися із зимівельних баз цих експедицій. Перша зимівля, яка була влаштована на о.і Бус (рис. 4), відбувалася з березня по грудень 1904 р. (Charcot, 1905). Друга зимівля на о. Пітерман тривала з лютого по листопад 1909 р. (Charcot, 1911).

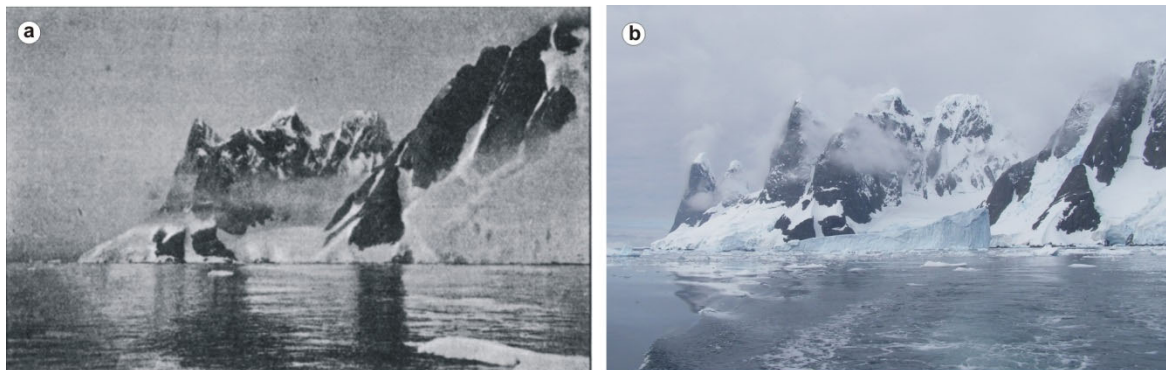


Рис. 3. Мис Ренарда – крайня північна точка Берега Греяма:

а – фото зроблено 12 лютого 1898 року під час Бельгійської антарктичної експедиції (Arcrowski, 1901a);
б – авторське фото, 8 лютого 2019 року

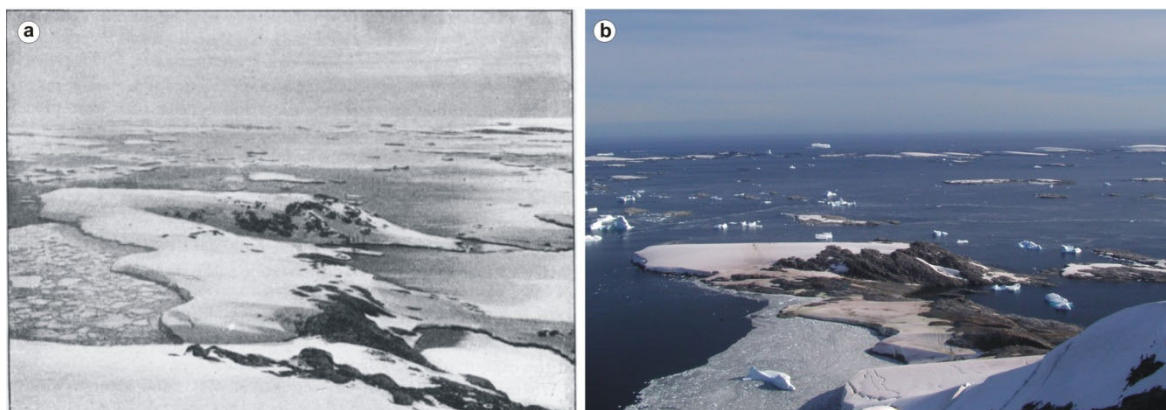


Рис. 4. Порт Шарко – місце зимівлі Французької антарктичної експедиції на о. Бус:

а – фото зроблено під час зимівлі в 1904 році (Charcot, 1905); б – авторське фото, 3 березня 2020 року

За час обох зимівель були проведені перші геодезичні роботи, складено декілька оглядових географічних карт досліджуваної території, впорядковано топоніміку. Більшість географічних назв, задіяних під час експедицій Шарко, використовуються й понині, зокрема: Аргентинські острови, Галіндез, Іризар, Уругвай, Ялур, Рока, Берселот, Дарбо, Лахіль та ін. Учасниками експедицій Шарко виконано цілу низку геологічних, геоморфологічних, гляціологічних, гідрографічних, метеорологічних і геофізичних досліджень. Зокрема, геолог Ернест Гурдон склав першу схематичну геологічну карту території від о. Берселот на півдні до о. Анверс і Брабант на півночі (рис. 4). Щоправда, навіть у межах деталізованої ділянки району о. Бус, зазначена карта виявилась доволі неточною. Закартовані поля розвитку гірських порід нанесені приблизно або й помилково, зокрема, недооцінена розповсюдженість вулканітів, натомість суттєво завищені площі діоритів. Геологічний вік досліджуваних порід залишився невизначеним, елементи залягання не вимірювались. Не виявивши осадових порід з притаманними їм стратифікацією та викопними рештками, головну увагу Е. Гурдон приділив петрографії. Так, ним уперше було виконано мікроскопічне вивчення зразків усіх виявлених на той момент представників магматичних порід: гранітів, діоритів,

габро, аплітів і "roches microlitiques" (Gourdon, 1908). Подальші геологічні дослідження, які виконувались Д. Фергюсоном у 1913 та О. Холтедахлом у 1927 рр., обмежувались територією Берега Данко та архіпелагу Палмера (Ferguson, 1921; Høltedahl, 1929). Берег Греяма та архіпелаг Вільгельма лишалися поза увагою геологів до 1935 р.

Дослідження Землі Греяма в 30–60-х роках XX сторіччя. 3 березня 1935 по лютий 1936 р. на Аргентинських островах перебувала Британська експедиція до Землі Греяма – BGLE (Rymill, 1938 a). Учасники BGLE звели першу будівлю на о. Вінтер, де зимувала "берегова партія" (рис. 6). "Корабельна партія" провела зимівлю на судні "Пенола", яке кинуло якір у найближчий бухті о. Галіндез.

За час зимівлі було складено перші топографічні карти Аргентинських островів (1 : 15000) та Берега Греяма (1 : 750000). Значна кількість островів і проток навколо "Північної Базис" на Аргентинських островах отримали свої теперішні назви, зокрема острови: Вінтер, Скуа, Блек, Леопард, Шелтер, Сри Літл Піг, Барчанс, Гротто, Корнер, а також протоки: Пенола, Мік, Стелла Крік, Блек Айленд Ченнел. Доволі ретельно були проміряні глибини акваторії Аргентинських островів, протягом року велися метеорологічні спостереження. Результати ж геологічних

досліджень BGLE у більшості залишилися неопублікованими. Про те, що геологічні спостереження виконувалися в районі "Північної Базис" на Аргентинських островах, можна лише здогадуватися за наявністю колекції гірських порід, яку значно пізніше дослідив Д. Елліот. Стислий геологічний та гляціологічний нарис, який був складений В.Л.С. Флемінгом (*Fleming, 1938, 1940*), більш за все стосується території, розташованої значно південніше УАС. Зокрема, у районі "Південної Базис" в затоці Маргарет, де експедиція провела другу зимівлю в 1936–1937 рр.,

Флемінг уперше описав виходи гнейсів і сланців "давнього" кристалічного фундаменту Землі Греяма, які зім'яті у складки меридіонального простягання. На північному ж узбережжі о. Олександра-І також уперше було виявлено стратифіковані осадові товщі вапняків, вапнистих пісковиків і глинистих сланців з викопними рештками рослин, двостулкових, брахіопод, белемнітів і хрящових риб. Найбільш важливим географічним відкриттям BGLE стало з'ясування того, що Земля Греяма є частиною Антарктичного континенту (рис. 7).

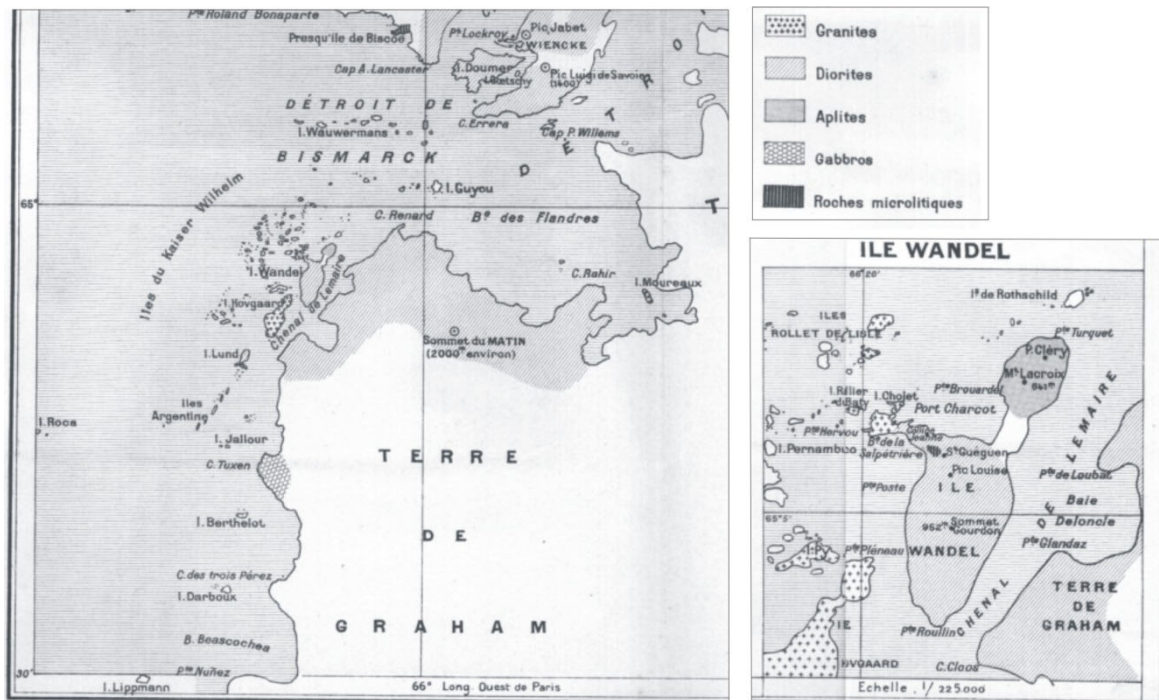


Рис. 5. Фрагменти геологічної карти (*Gourdon, 1908*) із зображенням архіпелагу Вільгельма та прилеглому узбережжя Землі Греяма



Рис. 6. Місце зимівлі BGLE на о. Вінтер, авторське фото 2017 року.

На місці зруйнованої будівлі в 1947 році була зведена чергова станція FIDS, що отримала найменування "Base F – Argentine Islands". Ця історична будівля, яку нині називають "Wordie House", розташована всього в 600 м південніше від Української антарктичної станції "Академік Вернадський"

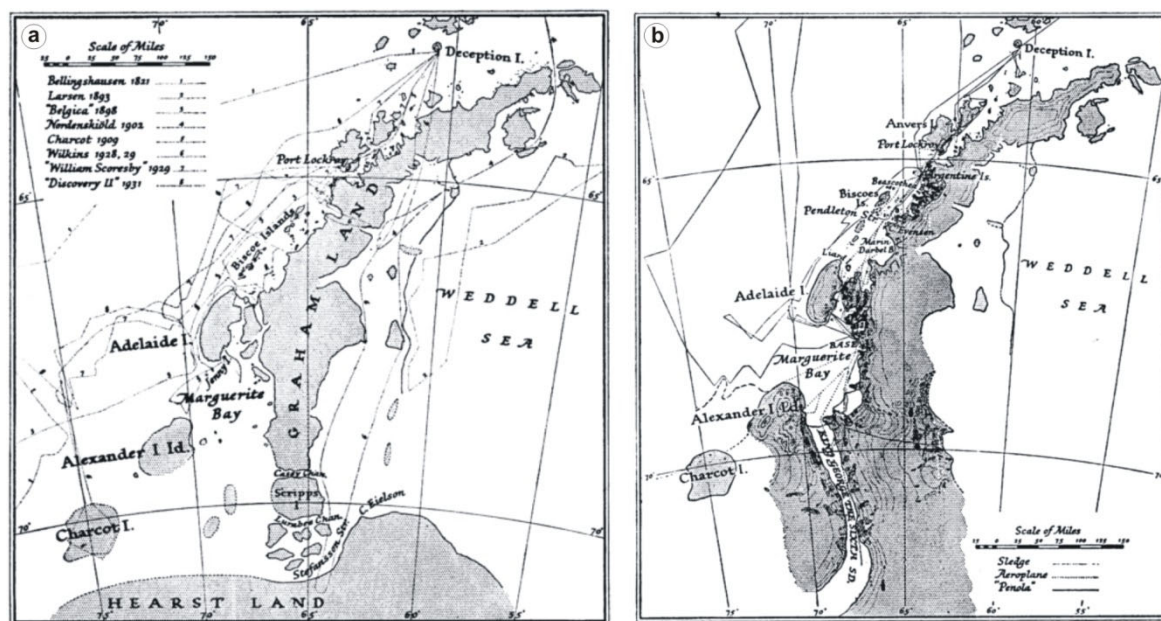


Рис. 7. Картографічні зображення Землі Грея (Rymill, 1938b):
а – до 1934 року; б – за результатами досліджень BGLE, 1934–1937 роки

Під час Другої світової війни вивченням Землі Грея займалися британські дослідники, які діяли в межах військової операції "Табарін" (Wordie, 1946). Дослідження виконувалися з постійно діючих станцій. Першу з таких станцій – *Base B* – було засновано 2 лютого 1944 р. на о. Десепшен із групи Південних Шетландських островів. У цьому ж сезоні 16 лютого 1944 р. було засновано *Base A* (Порт Локрой) на о. Вінке з архіпелагу Палмера, а роком пізніше, 13 лютого 1945 р., створюється перша станція на мейнленді – *Base D*, у затоці Хоуп Бей на північному закінченні Землі Грея. Крім метеорологічних і гідрографічних спостережень, розпочато цілеспрямоване виконання топографічних і геологічних зйомок. По завершенні Другої світової війни операція "Табарін" згортається, а її адміністративні та дослідницькі функції передаються організованій у 1946 р. Колоніальній службі Фолклендських островів – Falkland Islands Dependencies Survey (FIDS), що пізніше, у 1962 р., була реорганізована в Британську антарктичну службу (BAS). FIDS продовжує створення нових станцій у Західній Антарктиці: у 1946 р. засновано *Base C* на Південних Оркнейських островах і *Base E* на о. Стонінгтон у затоці Маргарет. Нарешті, у січні 1947 р. було створено *Base F* на Аргентинських островах (Fuchs, 1953). Первісно її побудували на місці зруйнованої будівлі BGLE на о. Вінтер (див. рис. 6), і лише в лютому 1954 р. було зведено нову будівлю *Base F* на о. Галіндес. Згодом, у 1977 р., її перейменували на "Фарадей".

На початковому етапі FIDS намагалася охопити топографічною та геологічною зйомками якомога більшу площу у найкоротший термін. Тому геологічні маршрути мали переважно рекогносцирувальний характер (Adie, 1958). Геологи вимушені були долати величезні відстані на собачих упряжках, обстежуючи в складних кліматичних умовах важко досяжні та практично невивчені території. Відправними пунктами для проведення таких маршрутів найкраще підходили *Base D* у затоці Хоуп Бей та *Base E* у затоці Маргарет. *Base D* дала можливість обстежити всю північну кінцівку Землі Грея, зокрема – півострів Трінті та навколишні острови. У результаті виявилось, що півострів Трінті значною мірою складений інтенсивно деформованими сланцево-грауваковими відкладами, для яких припускався пізньопалеозойський (не раніш кам'яновугільного?) вік. У

подальшому вони описувалися під найменуванням *Trinity Peninsula Series* – серія Трінті Пенінсула. На східному узбережжі півострова Трінті були відкриті нові прояви середньоюрських теригенних відкладів з викопними рештками рослин, зокрема, відомий розріз у затоці Ботані Бей. Стратиграфічно молодші за них вулканогенні товщі, за аналогією з типовим розрізом Хоуп-Бей, згодом вважалися верхньоюрськими.

У 1947 р. Р. Аді здійснив декілька санних подорожей вздовж східного узбережжя Землі Грея. Його найбільш видатний маршрут від *Base D* до *Base E* мав протяжність 1125 км і тривав 71 добу (Fuchs, 1951). У результаті в загальних рисах була з'ясована латеральна розповсюдженість уже відомих геологічних утворень. У районі мису Лонджинг відкрито крейдові відклади з викопною фауною моллюсків та риб. У багатьох місцях було виявлено давні вулканогенні відклади, які Р. Аді був схильний корелювати з верхньоюрськими вулканітами Хоуп Бей. На мисі Дісапоінтмент у ріолітових туфах знайдено карбонатизовані рештки дерев.

Після завершення рекогносцирувальних робіт наставала черга середньомасштабних геологічних зйомок, які не закінчені і по цей день. У 1955–1956 рр. П. Хупер робить геологічну зйомку найбільшого в архіпелазі Палмера о. Анверса, на якому в 1955 р. в затоці Артур Харбор побудовано *Base N* (Adie, 1958). У 1956–1957 рр. М. Бейлі та Дж. Хоббс виконують геологозйомочні роботи м-бу 1 : 200000 на Березі Данко, що межує з Берегом Грея на півночі. Дослідження виконуються з *Base O*, побудованої в 1956 р. на о. Данко в протоці Еррера. У 1957–1959 рр. Д. Голдрінг займається геологічною зйомкою Берега Лоубет, з яким Берег Грея межує на півдні. На всіх зазначених територіях виявлено значний розвиток магматичних порід – так званої "верхньоюрської вулканічної групи", Андійської інтрузивної серії крейдово-третинного віку та різновікових мафічних дайок. На острові Анверс знайдено вірогідні прояви неогенового вулканізму. Лише на Березі Данко виявлено метаморфізовані осадові відклади, літологічно подібні до верхньопалеозойської серії Трінті Пенінсула.

Середньомасштабну геологічну зйомку Берегів Грея та навколишніх островів було виконано Робіном Куртисом у 1957–1958 рр. (FIDS, 1958, 1960). Із квітня по жовтень 1957 р. тривали санні маршрути

навколо Бази J на мисі Проспект Поінт, які пролягали по морському льоду та охопили територію від мису Евенсен на півдні до о. Чавес на півночі. Спроба піднятися на льодове плато Брюса виявилася невдалою. Із січня по квітень 1958 р. Р. Куртіс працював на судах Військово-морського гідрографічного підрозділу, у результаті чого геологічною зйомкою була охоплена північна частина Берега Греяма, включаючи протоки Пенола та Лемер. Польові роботи виконувались зі спеціально облаштованого катера, який базувався спочатку на Аргентинських островах, а потім у районі допоміжного табору на островах Сенктуері. У 1962–1963 рр. М. Фліт здійснює геологічну зйомку м-бу 1 : 200000 на частині Берега Ооскара-II, що розташовується на схід від Берега Греяма, по іншій бік Антарктичного півострова.

У цей же період, наприкінці 50-х рр., було виконано великомасштабну геологічну зйомку Аргентинських островів. Стосовно точного терміну її здійснення та прізвищ виконавців є певні сумніви. Д. Елліот (Elliot, 1964) приписує ці дослідження Джофрі Роу (G.J. Roe), що в 1958 та 1959 рр. зимував у новій будівлі Бази F на о. Галіндес. Це свідчення частково підтверджуються біографічними даними про Д. Роу, опублікованими в "Antarctica an Encyclopedia" (Stewart, 2011). Тим не менше, у цьому виданні, а також у річних звітах FIDS (FIDS, 1960, 1961 a) зазначено, що під час обох років зимівлі Д. Роу виконував обов'язки помічника метеоролога. До Англії він повернувся в 1960 р., де до 1961 р. працював у геологічному підрозділі FIDS у Бірмінгемському університеті. Жодних публікацій про геологічні дослідження в Антарктиці він не оприлюднив. Принагідно нагадаємо, що приблизно в січні–лютому 1958 р. у старій будівлі Бази F на о. Вінтер перебував гідрографічний підрозділ, до складу якого входить уже згадуваний Р. Куртіс, що займається геологічною зйомкою Берега Греяма та прилеглих островів. Будь-які згадки про дослідження Д. Роу в публікації Р. Куртіса відсутні. У річному звіті FIDS за 1959–1960 рр. вказано, що саме в цей термін була завершена детальна геологічна зйомка Аргентинських островів (FIDS, 1961 b). Щоправда, не зовсім зрозуміло, чи було це наприкінці 1959 р., коли Д. Роу ще був на Базі F, чи, може, у 1960 р. і, коли він уже повернувся додому. Крім переліченого, відомо, що в 1960 р. у старій будівлі Бази F вимушено зимувє дослідницька група з о. Аделаїди, серед яких також є геолог Артур Фрейзер. В одній зі своїх публікацій (Fraser, 1964) він мимохідь згадує, що в термін полярного літа 1960–1961 рр. він виконував польові геологічні дослідження на островах Анаграм, що розташовуються неподалік від бази F на Аргентинських островах.

Перші спроби ізотопного датування гірських порід Антарктичного півострова виконано М. Халперном (1962, 1965, 1967) і М. Скоттом (1965). У результаті для теригенних відкладів мису Легоупіл на західному узбережжі півострова Трініті було отримано ранньокрейдові значення K-Ar віку по амфіболу – 116 ± 4 млн р. (Halpern, 1965). Дещо молодшими виявилися інтрузії габро – 100 ± 20 млн р. по клінопіроксену та кварцових діоритів – 75 ± 8 млн р. по біотиту (Halpern, 1962), які розповсюджені в цьому районі. Наймолодші ж палеогенові значення K-Ar віку – 53 ± 5 млн р. дали кварцові діорити о. Доумер з архіпелагу Палмера (Scott, 1965).

Особливе значення для розуміння геології району УАС мають наукові публікації 50–60 рр. XX ст., оприлюднені у виданнях: *FIDS Scientific Reports*, *BAS Scientific reports* та *British Antarctic Survey Bulletin*. Зокрема, цикл наукових робіт Раймонда Еді (Adie, 1953, 1954, 1955, 1957 a), частково опублікований під спільним заголовком "The petrology of Graham Land", охопив більшість

відомих на той час петрографічних асоціацій: комплекс кристалічного фундаменту (basement complex); палеозойські плутонічні та вулканічні породи; теригенну серію Трініті Пенінсула; Андійську габро-гранітну інтрузивну серію. Запропоновані Р. Еді стратиграфічні схеми (Adie, 1962) тривалий час широко застосовувалися при здійсненні міжрегіональних геологічних кореляцій.

У 1962 р. одночасно виходять монографії П. Хупера та Д. Голдрінга. Робота П. Хупера присвячена петрографії о. Анверса та сусідніх островів, де автор раніш виконував середньомасштабну геологічну зйомку. Зокрема, описані магматичні породи островів Вінке та Доумер на архіпелазі Палмера, а також островів Веуверман на архіпелазі Вільгельма (Hooper, 1962). У роботі Д. Голдрінга описано геологію Берега Лоубет (Goldring, 1962).

У 1964 р. Девід Елліот оприлюднює монографію "The petrology of the Argentine Islands" (Elliot, 1964). Його петрографічні дослідження спираються на польові матеріали та колекції, що були зібрані попередниками, зокрема – BGLE (1934–1937) та FIDS (1958–1959). На наведений в цій роботі геологічний карті Аргентинських островів (масштаб приблизно відповідає 1 : 25000) показано площі розповсюдження верхньорурської вулканічної групи, Андійської інтрузивної серії, а також "доандійських", "постандійських" і "третинних" гіпабісальних дайкових утворень. Подальші дослідження виявили цілу низку недоліків цієї карти та запропонованої Д. Елліот схеми розчленування магматичних утворень району. Так, на карту нанесено лише суто петрографічні дані, на ній відсутні елементи залягання порід, розривні порушення тощо. Просторова розповсюдженість головних петрографічних представників не завжди відповідає дійсності. Відносний вік окремих підрозділів недостатньо обґрунтований, а часом взагалі, визначений помилково. Тим не менше, незважаючи на численні недоліки та неточності, ця карта, легенда до неї та супровідні петрографічні описи гірських порід досі використовуються українськими вченими в ході виконання геологічних досліджень на Аргентинських островах.

Одночасно з роботою Д. Елліота, друкується стаття Артура Фрайзера, присвячена розшарованим габроїдам островів Анаграм (Fraser, 1964). Ці породи А. Фрайзер відносить до Андійської інтрузивної серії, доводячи, що їхня тонка ритмічна розшарованість має первинно-магматичне походження. Своєрідні особливості залягання розшарованих габроїдів пояснюються вкоріненням кількох порцій частково-закристалізованої магми в магматичну камеру, що відбувалося в короткий проміжок часу та супроводжувалося пульсацийним зменшенням тиску (релаксацією) між послідовними інтрузивними фазами. Амфіболізації габроїдів і розвитку магнетитової мінералізації приписується пізньомагматичне походження.

М. Еванс досліджує залишкову намагніченість верхньорурських (?) лав Аргентинських островів (Evans, 1965). Напрями намагніченості у дванадцяти досліджених зразках виявили значне розсіювання, що унеможливило отримання необхідних палеомагнітних даних. Невдачу своїх і попередніх експериментів, що виконувалися (Blundell, 1962), автор пояснює частковим або повним руйнуванням первинної намагніченості вулканітів під час укорінення Андійської інтрузивної серії.

У 1965–1966 рр. виходить декілька фундаментальних робіт з геології найбільш північної частини Землі Греяма. Зокрема, у роботі Н. Ейткенхеда описано геологію східного узбережжя півострова Трініті (Aitkenhead, 1965). Статті Д. Елліота присвячено геології північно-західного узбережжя півострова Трініті та Берега Норденшельда (Elliot, 1965, 1966). Міоценові вулканіти, розповсюджені

на острівній групі Джеймса Роса та півострові Табарин, усебічно вивчає П. Нельсон (*Nelson, 1966*). Узагальнювальну роботу із стратиграфії північно-східної частини Землі Грея та острівної групи Джеймса Роса оприлюднює Дж. Бібі (*Bibby, 1966*).

У 1966 р. Р. Куртіс публікує свою монографію, присвячену петрографії Берега Грея (*Curtis, 1966*). Використовуючи матеріали виконаної геологічної зйомки, цей автор корелює місцеві стратифіковані та інтрузивні утворення з раніш описуваними Р. Еді та охарактеризованими палеонтологічно в районі Хоуп Бей (Hope Bay). На узбережжі Антарктичного півострова, що безпосередньо прилягає до УАС, а також на сусідніх островах з архіпелагів Вільгельма та Біско, Р. Куртіс виокремлює: 1) метаморфізовані осадові породи затоки Біскочія Бей та острова Лахіл, які корелюються з верхньопалеозойською серією Трініті Пенінсула; 2) верхньоярську вулканічну групу андезитів, дацитів і пірокластичних утворень; 3) Андійську інтрузивну серію пізньокрейдового-ранньотретинного віку, що включає габро, діорити, гранодіорити та граніти. Монографія Р. Куртіса містить геологічні карти території проток Пенола та Лемер із масштабом, наближеним до 1 : 200000 – 1 : 100000 (рис. 8), а також супровідні петрографічні описи. Усі перелічені матеріали дотепер використовуються в ході проведення геологічних і геофізичних досліджень у регіоні.

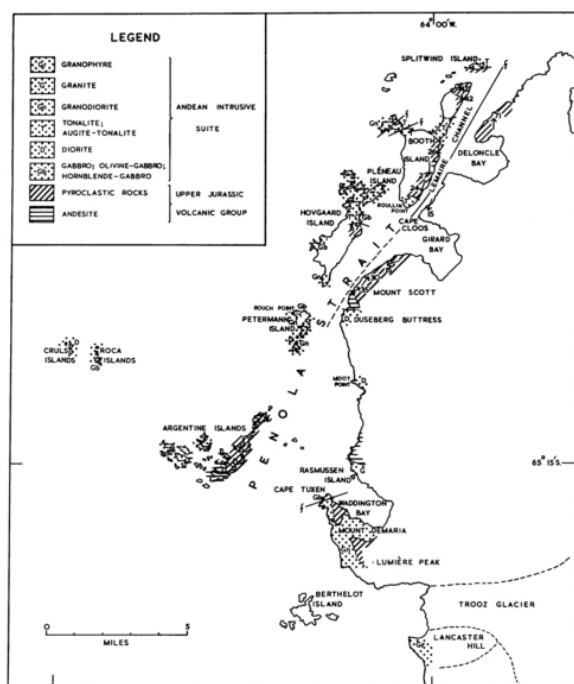


Рис. 8. Геологічна карта району проток Пенола – Лемер і навколишніх островів (*Curtis, 1966*)

Нарешті, у 1968 р. друкується робота М. Фліта з геології Берега Оскара-II (*Fleet, 1968*), яка завершує описуваний цикл регіональних наукових публікацій, присвячених геологічній будові центральної та північної частини Землі Грея. М. Фліт з'ясовує, що в районі, розташованому на схід від Берега Грея по іншій бік Антарктичного півострова, відслонюються стратифіковані утворення палеозойського та мезозойського віку. Найдавнішими серед них є зім'яті в ізоклінальні складки теригенні відклади, які корелюються з верхньопалеозойською серією Трініті Пенінсула. Їхня розповсюдженість обмежується північною частиною досліджуваної території. Менш деформовані осадові товщі з району глетчерів Старбук і Стаб М. Фліт корелює із середньоярськими

відкладами Хоуп-Бей. Потужна товща вулканогенних порід переважно кислого складу, яка становить більшу частину дослідженого району Берега Оскара-II, віднесена ним до верхньоярської вулканічної групи. Серед інтрузивних утворень, крім Андійської інтрузивної серії, описано дайки кварц-пертитових порфірів і "білі" граніти, які інтродують верхньоярські вулканіти.

Таким чином, до початку 70-х рр. середньомасштабною геологічною зйомкою були охоплені: 1) вузька лінія узбережжя Берега Грея; 2) частина островів архіпелагу Вільгельма, що прилягають до судноплавних проток Лемаер і Пенола; 3) деякі з островів уздовж протоки Грандієр; 4) суміжні з Берегом Грея території – архіпелаг Палмера, Берег Данко, Берег Лоубет і Берег Оскара-II. Було з'ясовано, що в усіх перелічених місцях значним розповсюдженням користуються інтрузивно-магматичні утворення та "німі" вулканогенні товщі. У кількох місцях були також виявлені теригенні відклади, щоправда також без палеонтологічних решток. Відсутність фосилій у стратифікованих відкладах досліджуваної території довгий час ускладнювала безпосереднє визначення їхнього геологічного віку. Тому уявлення про час формування того чи іншого геологічного утворення базувалися переважно на його більшій чи меншій петрографічній подібності до палеонтологічно-датованих стратотипів на півночі Антарктичного півострова або до інтрузивних утворень, що перетинають стратотипові товщі.

Дослідження Землі Грея в 70–90 роках ХХ сторіччя. Після публікації монографії Р. Куртіса район Берега Грея лише епізодично потрапляє в поле зору геологів. Геологізйомочні роботи на цей момент змістилися далі на південь у район бухти Маргарити, о. Олександра-I та Землі Палмера. Серед наукових робіт, присвячених геології суміжних до Берега Грея територій, слід відмітити публікації Ж. Дивара, С. Вест і М.Т омсона.

Ж. Дивар (*Dewar, 1970*) опублікував результати власних досліджень, проведених ще в 1961–1963 рр. у районі о. Аделаїди – другого за розміром серед антарктичних островів, розташованого в акваторії Берега Лоубет близько 220 км на південь від УАС. Він з'ясував, що о. Аделаїди складений стратифікованими вулканогенно-осадовими відкладами, які прориваються інтрузіями Андійської інтрузивної серії, а також мафічними дайками доандійського та постандійського віку. Вивчення вулканогенно-осадових відкладів показало, що їхній розріз представлений двома товщами пірокластичних та осадових порід, які розмежовуються товщею спілітових лав. На кількох ділянках в осадових породах і вулканічних туфах були знайдені фосилії: викопні рештки листя та деревини, відбитки морських хробаків, спікули губок, раділярії, двостулкові молюски, амоніти. Їхнім подальшим дослідженням займався М. Томсон, який не лише підтвердив пізньоярський вік досліджуваних відкладів, а й зробив висновок про морське осадження теригенного та вулканогенного матеріалу (*Thomson, 1972*).

У роботі С. Вест (*West, 1974*) з геології Берега Данко наведено результати опрацювання польових матеріалів і колекцій, зібраних раніш М. Бейлі та Дж. Хоббсом. М. Бейлі (1956–1957) здійснив геологічну зйомку м-бу 1 : 200000 на ділянці узбережжя між затоками Шарлоти та Ендворда. Геологічна зйомка Дж. Хобса (1957) охопила ділянку узбережжя від Затоки Ендворда до затоки Парадайз Харбор. Петрографічні дослідження С. Вест підтвердили належність стратифікованих теригенних товщ Парадайз Харбор і Некко Харбор до верхньопалеозойської серії Трініті Пенінсула. Описано розріз, в якому вони незгідно (?)

перекриваються відкладами верхньоярської вулканічної групи. Серед інтрузивних утворень Берега Данко авторка схильна розрізняти: 1) граніти та гранодіорити, які інтродували в палеозойські відклади до виверження вулканітів; 2) поствулканічні інтрузії габро, діоритів і гранодіоритів; 3) різновікові гіпабісальні інтрузії мікрогранітів, мікродіоритів і мікрогабро.

М. Томсон (*Thomson, 1975*) здійснює літологічні та палеонтологічні дослідження формації Легоупіл на західному узбережжі півострова Трініті. За наявними викопними рештками двостулків робиться висновок про тріасовий вік морських теригенних відкладів мису Легоупіль. Це ставить під сумнів попередні ранньокрейдові K-Ar датування, які отримав *Halpern, 1965*. Разом з тим, М. Томсон зауважує, що, незважаючи на літологічну та структурну подібність формації Легоупіль до серії Трініті Північної Америки, вік останньої недостатньо однозначний для проведення стратиграфічних кореляцій.

У ці ж часи триває накопичення даних з ізотопного віку гірських порід Антарктичного півострова. У супереч очікуванням, для жодної з досліджуваних ділянок не було отримано докембрійських датувань. Кристалічний фундамент Землі Греяма виявився значно молодшим, ніж у Східній Антарктиці. М. Халперн отримав для гнейсів затоки Маргарет Rb-Sr датування 200 ± 10 млн р. (*Halpern, 1971*). Ще молодшими були попередні K-Ar датування цих утворень, які опублікував (*Grikurov et al., 1966*). У 1976 р. Д. Рекс публікує роботу, в якій узагальнює власні, а також попередні дані K-Ar датування щодо Антарктичного півострова (*Rex, 1976*). Він з'ясовує, що на східному узбережжі Землі Греяма в районі Таргет Хілл і Гулівер Нунатак гнейси "давнього" кристалічного фундаменту дають лише тріасові значення віку 243 ± 10 млн р. по роковій обманці. Натомість, пізньопалеозойський (девонський) вік 384 ± 15 млн р. було отримано по біотитах з гранітоїдів Лізард Хілл на крайньому північно-східному закінченні Землі Греяма. Датування Андійської інтрузивної серії габроїдів, діоритів і гранітоїдів виявили варіації від юрського періоду та палеогену включно. У цій роботі вперше з'являються результати ізотопного датування магматичних утворень району УАС. Зокрема, по піроксенах з діоритів острова Берселот було отримано пізньокрейдове значення K-Ar віку 73 ± 6 млн р. У той же час K-Ar вік біотитів та амфіболів з гранітоїдів островів Барчанс-Фордж виявився палеогеновим – $54\text{--}57$ млн р. (*Rex, 1976*).

У 1979–1981 рр. BAS видає серію геологічних карт м-бу 1 : 500000 під заголовком "British Antarctic Territory Geological Map, Series BAS 500G". На третьому листі цієї карти зображена південна частина Землі Греяма, де розташований Берег Греяма та навколишні острови (*BAS, 1981*). Помітно, що до польових матеріалів геологічної зйомки (*Curtis, 1966*) тут додано дані аерофотозйомки та аерогеофізичних методів. Зокрема, у затоці Фландрес на північному узбережжі Берега Греяма всі нарисовані виходи гірських порід мають позначку (?), тобто вони не завірені наземними геологічними спостереженнями. У затоці Біскачі геологічна карта складена лише на трьох крихітних ділянках у районі мису Перез, Крамер Рокс і Чілоу Поінт. Внутрішні ж частини Берега Греяма взагалі залишилися незакартованими. Так само відсутні будь-які дані з геології островів Данебруг, Ведель, Міріад, Бетбедер з архіпелагу Вільгельма, а також дані з величезної групи островів Біско.

Д. Хаукс і М. Літфеа досліджують кварц-молібденіт-халькопіритові, кварц-піритові та кварц-магнетитові жили, які перетинають гранітоїди островів Барчанс і Фордж, а також супутні їм гідротермально-метасоматичні зміни – пропілітизацію, серицитизацію та аргілізацію (*Hawkes and Littlefair, 1981*). У результаті робиться

висновок, що досліджувані рудопрояви являють собою найбільш еродовану кореневу зону мідно-порфірової системи. Локалізація менш еродованої і відповідно більш цікавої в металогенічному сенсі частини цієї системи прогнозується на південно-східному фланзі Аргентинських островів.

У 1982 р. Р. Панхерст оприлюднює зведення із Rb-Sr геохронології магматичних порід Землі Греяма (*Pankhurst, 1982*). Отримані з різноманітних магматичних порід Rb-Sr ізохрони охопили діапазон віку 209–46 млн р. із чотирма головними піками магматизму – юрським, ранньокрейдовим, пізньокрейдовим та еоценовим. Доведено, що виверження вулканічних порід тривали протягом майже всього зазначеного часу, а не лише в пізній юрі, як вважалося раніше. З'ясовано, що розвиток магматизму супроводжувався зростанням частки середніх та основних порід, а також зміною їхніх ізотопних характеристик, зокрема зменшенням ініціальних співвідношень $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. З магматичних порід району УАС опубліковано три нові ізотопні датування, отримані Rb-Sr ізохронним методом. Ранньокрейдовий вік, 128 ± 3 млн р., визначений для дрібнозернистих гранітів о. Расмуссена; пізньокрейдовий, 93 ± 8 млн р. – для гранітоїдів о. Пітерман; палеогеновий, 55 ± 3 млн р. – для гранодіоритів островів Барчанс.

М. Томсон і Р. Панхерст узагальнюють палеонтологічні, седиментологічні та ізотопно-геохронологічні дані з "пост-гондванських" вулканітів Антарктичного півострова (*Thomson and Pankhurst, 1983*). Автори в черговий раз звертають увагу на некоректність визначення їхньої стратиграфічної позиції як суто "верхньоярської вулканічної групи". Наочно продемонстровано, що вік вулканізму в різних частинах Антарктичного півострова може варіювати від ранньої юри до палеогену включно (180–60 млн р.). Надійних літологічних критеріїв для польової ідентифікації різновікових вулканогенних товщ автори не виявили. Тому різні за віком і географічним положенням прояви вапняково-лужного вулканізму запропоновано об'єднати під спільним найменуванням *Antarctic Peninsula Volcanic Group* – Вулканічна група Антарктичного півострова.

У 1985 р. Дж. Смелі зі співавторами публікують результати польових досліджень, які виконувалися у 1983 р. в районі, що розташовується південно-західніше та західніше УАС (*Smellie et al., 1985*). Середньомасштабна геологічна зйомка частково охопила прибережну частину островів Біско, острів Гюго, а також південно-західну акваторію архіпелагу Вільгельма з островами Бетбедер, Суті Рокс і Квінтана. Візуальне обстеження островів і висадки на узбережжя здійснювалися з борту корабля "Джон Біско". З'ясовано, що досліджувана територія складена переважно магматичними породами, які автори віднесли до Вулканічної групи Антарктичного півострова та Андійської інтрузивної серії. Були виявлені своєрідні зони мігматизації на контактах вулканітів з інтрузіями габро та діоритів. Припускається, що вони, а також значний розвиток гіпабісальних порід, свідчать про незначні глибини формування інтрузій. На островах Джинкс зафіксовано свідчення процесів магматичного змішування, що відбувалися на субвулканічному рівні. Детальнішому опису інтрузивного комплексу Джинкс присвячена публікація (*Moyes, 1986*).

У 1984–1987 рр. Дж. Мілн займається геологією південної частини Берега Оскара-II (*Milne, 1987*). На відміну від його північної частини, описаної (*Fleet, 1968*), тут, у районі Таргет Хілл раніш були виявлені виходи палеозойського кристалічного фундаменту. В їхньому петрографічному складі розрізняються інтенсивно деформовані гранітоїдні ортогнейси, мігматитові гнейси та метаосадові породи. Виявлено випадки незгідного

перекривання кристалічного фундаменту слабкодеформованими кислими вулканітами, для яких припускається мезозойський вік. Серед інтрузивних утворень описано мезозойські гранітоїди, одновікові з ними дайки кварц-польовошпатових порфірів та наймолодші дайки базальтів.

К. Біркенмаєр публікує цикл наукових статей з результатів польських геодинамічних експедицій в Західній Антарктиці, які відбувалися в 1984–1985, 1987–1988, 1990–1991 рр. (Birkenmaier, 1988, 1991, 1992, 1995). Під час цих експедицій польськими геологами вивчалася північна частина Землі Греяма. Зокрема, детально досліджена теригенна група Трініті Пенінсула (Trinity Peninsula Group) у затоці Хоуп Бей та на мисі Легоупіль півострова Трініті, а також у районі Ендвор Бей та Парадайз Харбор на Березі Данко. Геологічний вік групи Трініті Пенінсула автор обмежує перм-тріасовим часовим діапазоном. У районі Хоуп Бей пропонується розділити цей стратон на три літостратиграфічні підрозділи, які за віком нарошують один одного в західному напрямку. Висловлюється думка про турбідитне походження досліджених відкладів. Вулканічна група Антарктичного півострова була досліджена на Березі Данко в районі півострова Арцтовського та Парадайз Харбор. З'ясовано, що її петрографічний склад на цій ділянці відрізняється від типового розрізу Хоуп Бей значною часткою андезитових і базальтових лав. К. Біркенмаєр спростовує твердження (West, 1974) про наявність у цьому районі гранітоїдів, що за віком є давнішими за вулканіти. Доводячи "догранітний" час формування вулканітів, автор чомусь вважає вулканіти ранньокрейдовими. Хоча сам же згадує про Rb-Sr датування 117 та 131 млн р., які (Pankhurst, 1982) отримав для начебто "поствулканічних" гранітоїдів Берега Данко. Додаткові дані про ізотопний вік гірських порід цього регіону є в статті (Parada et al., 1990). М. Парада зі співавторами отримав нові K-Ar датування по біотитах з плутонічних порід Берега Данко та архіпелагу Палмера: 113 ± 3 млн р. – для гранодіоритів затоки Ендворда; 68 ± 2 та $54,2 \pm 1,4$ млн р. – для гранітоїдів північно-східної частини о. Анверс; $55,7 \pm 1,6$ млн р. та $50,2 \pm 1,4$ млн р. – для діоритів Порт Локроу та о. Доумер; $20,4 \pm 1$ млн р. – для тоналітів біля Бази Палмера на південному узбережжі о. Анверс. Разом з даними попередників отримані цифри засвідчили часову міграцію центрів магматизму в західному напрямку.

Завершення описуваного періоду геологічних досліджень Землі Греяма збіглося з публікацією відомої статті П. Літ із співавторами "On the Antarctic Peninsula Batholith" (Leat et al., 1995). Автори вважають, що численні виходи Андійської інтрузивної серії на території Антарктичного півострова та сусідніх островів є частинами єдиного батоліту, аналогічного величезним батолітам Анд і Кордильєр. Припускається, що батоліт Антарктичного півострова простягається вздовж його осьової частини на відстані 1350 км за максимальної ширини 210 км. Його формування охоплює часовий інтервал 240–10 млн років з головним піком магматизму в крейдовому періоді 142–97 млн р. Зважаючи на те, що нагромадження Вулканічної групи Антарктичного півострова також тривало від ранньої юри до палеогену, уперше висловлена думка про генетичний зв'язок між виверженнями вапняно-лужних вулканітів та інтрузіями батоліту Антарктичного півострова.

Висновки. Складений автором нарис дає змогу оцінити стан геологічної вивченості Берега Греяма та архіпелагу Вільгельма на момент створення тут Української антарктичної станції "Академік Вернадський" у 1996 р. Він дозволяє зробити низку висновків стосовно: хронологічної послідовності окремих

досліджень та охоплених ними площ; умов проведення та особливостей організації польових робіт; достовірності результатів окремих геологічних зйомок; наявності територій недостатньо або зовсім неохоплених дослідженнями.

1. Більшість геологічних досліджень "Героїчної епохи освоєння Антарктики", 1898–1927 рр., виконувались поза межами району УАС. Тим не менше, саме вони сформували початкові уявлення про фізιοграфію та геологію найбільш північних територій Землі Греяма – Берега Данко, протоки Герлаша, архіпелагу Палмера, півострова Трініті, Південних Шетландських островів та островів Джеймса Роса. Відомості про геологічну будову Берега Греяма та архіпелагу Вільгельма, отримані Французькими антарктичними експедиціями в 1904 та 1909 рр., мають переважно історичну цінність.

2. Значну частину первинних геологічних даних по Землі Греяма отримано в 40–60 рр. XX ст., коли FIDS і BAS виконало основний обсяг дрібно- та середньомасштабних геологічних зйомок. Саме ці дані створили основу для складання сучасних геологічних карт, стратиграфічних схем, петрографічних і тектонічних описів. Результативність досліджень на різних територіях у цей період залежала не лише від ступеня їхньої відслоненості, а й від досяжності собаками упряжками та плавзасобами. Найкраще досліджено найбільш північні території Землі Греяма, зокрема півострів Трініті та острова Джеймса Роса, де виявлено більшість регіональних стратотипів. Останні, однак, занадто віддалені від району УАС, що значно ускладнює кореляцію "німих" вулканогенних і теригенних товщ. Кондиційність геологічних зйомок Берега Данко, що розташовується північніше району УАС, слід вважати задовільною. У затоці Фландрес, по якій Берег Данко межує з Берегом Греяма, середньомасштабну геологічну зйомку не виконано й понині.

3. Середньомасштабна геологічна зйомка окремих ділянок Берега Греяма та прилеглих до них островів з архіпелагу Вільгельма, яка виконувалась у 1957–1958 рр., здійснювалась за несприятливих умов. Цим пояснюється її фрагментарність і неоднакова забезпеченість польовими спостереженнями. У зв'язку з поганою льодовою обстановкою та особливостями організації геологічних маршрутів, численні затоки, які заглиблюються в Берг Греяма, а також його важкодоступні внутрішні території залишилися зовсім невивченими. Так само не охоплена геологозйомочними роботами значна частина островів архіпелагу Вільгельма, особливо тих, що є віддаленими від судноплавних проток Лемер, Пенола та Грандідієр.

4. Єдиним районом досліджуваної території, де в 1958–1959 рр. було виконано великомасштабну геологічну зйомку, є Аргентинські острови. Її виконавець точно невідомий, первинний звіт і польові фактичні матеріали недоступні. За винятком петрографічного нариса та супровідної геологічної карти, більшість інших результатів зазначеної зйомки залишилися неопублікованими. Наявна великомасштабна геологічна карта Аргентинських островів і схеми розчленування магматичних утворень району мають низку суттєвих недоліків. Зокрема, на карту нанесено лише суто петрографічні дані. На ній відсутні елементи залягання гірських порід, тектонічні деформації, зони постмагматичних змін, прояви рудної мінералізації тощо. Просторова розповсюдженість головних петрографічних представників не завжди відповідає дійсності. Відносний вік окремих підрозділів недостатньо обґрунтований, а часом взагалі визначений помилково. Тим не менше, саме ця карта, легенда до неї та супровідні петрографічні описи гірських порід досі використовуються

українськими вченими під час виконання геологічних досліджень на Аргентинських островах.

5. У 70–90 рр. XX ст. жодних геологозйомочних робіт у районі Берега Грея та архіпелагу Вільгельма не виконувалося, а місцеві дослідження мали вузьку наукову спеціалізацію та територіальні обмеження. Тому рівень геологічної вивченості цього району лишився набагато гіршим, ніж на суміжних територіях Берега Данко, протоки Герлаша, архіпелагу Палмера, півострова Трініті, островів Біско та Аделаїди, бухти Маргарет. Погано вивченими залишилися райони Берега Лубе та Берга Оскара-II, що лежать на південь і захід від Берега Грея відповідно.

6. Із 1996 р. дослідженням Берега Грея та архіпелагу Вільгельма займаються українські геологи. Дослідження, які виконувалися протягом 25-річного існування Української антарктичної станції "Академік Вернадський", а також сучасний стан геологічної вивченості навколишніх територій має бути охарактеризований у наступних публікаціях автора.

Список використаних джерел / Refereses

- Adie, R.J. (1953). The rocks of Graham Land. *Ph.D. thesis*. University of Cambridge.
- Adie, R.J. (1954). The petrology of Graham Land: I. The Basement Complex; early Palaeozoic plutonic and volcanic rocks. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, 11, 22.
- Adie, R.J. (1955). The petrology of Graham Land: II. The Andean granite-gabbro intrusive suite. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, 12, 39.
- Adie, R.J. (1957a). The petrology of Graham Land: III. Metamorphic rocks of the Trinity Peninsula series. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, 20, 26.
- Adie, R.J. (1957b). Geological investigations in the Falkland Islands dependencies before 1940. *Polar Record*, 8, 57, 502-513. doi.org/10.1017/S0032247400049883
- Adie, R.J. (1958). Geological investigations in the Falkland Islands dependencies since 1940. *Polar Record*, 9, 58, 3-17. doi.org/10.1017/S0032247400048749
- Adie, R.J. (1962). The Geology of Antarctica. *Antarctic Research: The Matthew Fontaine Maury Memorial Symposium*, 7, 26-39. doi.org/10.1029/GM007p0026
- Aitkenhead, N. (1965). The geology of the Duse Bay – Larsen Inlet area, north-east Graham Land (with particular reference to the Trinity Peninsula Series). *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 51, 62.
- Andersson, J.G. (1906). On the Geology of Graham Land. Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala, VII, 13, 14, 19-71.
- Arctowski, H. (1901a). Exploration of Antarctic Land. *The Geographical Journal*, 17, 2, 150-18. doi.org/10.2307/1775537
- Arctowski, H. (1901b). The Antarctic Voyage of "Belgica" during the Years 1897, 1898 and 1899. *The Geographical Journal*, 18, 4, 353-390. doi.org/10.2307/1775722
- BAE. (1904). The Belgian Antarctic expedition under the command of A. de Gerlache de Gomery. Summery report of the voyage of the "Belgica" in 1897-1899. Brussels.
- BAS. (1981). British Antarctic Territory Geological Map: Scale 1:500000 "Southern Graham Land", Series BAS 500G Sheet 3, Cambridge: British Antarctic Survey.
- Barr, W., Kraus, R., Pawlik, P.M. (2004). Chukchi Sea, Southern Ocean, Kara Sea: the polar voyages of captain Eduard Dallman, whaler, trader, explorer 1830-96. *Polar Record*, 40, 212, 1-18. doi:10.1017/S0032247403003139
- Bibby, J.S. (1966). The stratigraphy of part of north-east Graham Land and James Ross Island Group. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 53, 37.
- Birkenmajer, K. (1988). Report on the Polish geological investigations in the Antarctic Peninsula sector, 1987-88. *Polish Polar Research*, 9, 4, 505-519.
- Birkenmajer, K. (1991). Report on the Polish geological investigations in the West Antarctica, 1990-91. *Polish Polar Research*, 12, 3, 369-390.
- Birkenmajer, K. (1992). Trinity Peninsula Group (Permo-Triassic?) at Hope bay, Antarctic Peninsula. *Polish Polar Research*, 13, 3-4, 215-240.
- Birkenmajer, K. (1995). Geology of Gerlache Strait, West Antarctica. I. Arctowski Peninsula. *Polish Polar Research*, 16, 1-2, 47-60.
- Biscoe, J., Enderby, Messrs. (1833). Recent discoveries in the Antarctic Ocean. From the Log-book of the brig Tula, commanded by Mr. John Biscoe, R.N. *The Journal of the Royal Geographical Society of London*, 3, 105-112.
- Blundell, D.J. (1962). Palaeomagnetic investigations in the Falkland Islands Dependencies. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 39, 24.
- Bone, T.M. (1821). New Shetland. *The Literary Gazette and Journal of Belles Lettres*, 5, 691-92, 712-713, 746-747.
- Miers, J. (1820). Account of the Discovery of the South Shetland, with observations of its impotence in a Geographical, Commercial, and Political points of view: with two Plates. *The Edinburgh Philosophical Journal*, 3, 367-380.
- Charcot, J.B. (1905). The French Antarctic Expedition. *The Geographical Journal*, 26, 5, 497-516. doi.org/10.2307/1776355
- Charcot, J.B. (1911). The voyage of the "Why not?" in the Antarctic: the journal of the second French South polar expedition, 1908-10. Hogger and Stoughton, New York and London.
- Curtis, R. (1966). The petrology of the Graham Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 50, 51.
- Dewar, G.J. (1970). The geology of Adelaide Island. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 57, 66.
- Elliot, D. H. (1964). The petrology of the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 41, 31.
- Elliot, D.H. (1965). Geology of north-west Trinity Peninsula, Graham Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 7, 1-24.
- Elliot, D.H. (1966). Geology of the Nordenskiöld Coast and comparison with north-west Trinity Peninsula, Graham Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 10, 1-43.
- Evans, M.E. (1965). Note on the remanent magnetism of some Upper Jurassic lavas from Argentine Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 6, 49-50.
- Ferguson, D. (1921) Geological observations in the South Shetlands, the Palmer Archipelago and Graham Land, Antarctica. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 53, 1, 3, 29-55.
- FIDS. (1958). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1956-57. *Polar Record*, 9, 60, 245-251. doi.org/10.1017/S0032247400065815
- FIDS. (1960). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1957-58. *Polar Record*, 10, 64, 46-54. doi.org/10.1017/S0032247400050658
- FIDS. (1961a). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1958-59. *Polar Record*, 10, 67, 391-396. doi.org/10.1017/S0032247400051627
- FIDS. (1961b). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1959-60. *Polar Record*, 10, 68, 523-527. doi.org/10.1017/S0032247400051986
- Fleet, M. (1968). The geology of the Oscar II Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 59, 46.
- Fleming, W.L.S., Stephenson, A., Roberts, B.B., Bertram, G.C.L. (1938). Notes on the scientific work of the British Graham Land Expedition, 1934-37. *The Geographical Journal*, 91, 6, 508-528. doi.org/10.2307/1787413
- Fleming, W.L.S. (1940). Relic Glacial Forms on the Western Seaboard of Graham Land. *The Geographical Journal*, 96, 2, 93-100. doi.org/10.2307/1787738
- Fraser, A.G. (1964). Banded gabbros of the Anagram Islands, Graham Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 4, 23-38.
- Fuchs, V.E. (1951). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1947-50. *Polar Record*, 6, 41, 7-27. doi.org/10.1017/S0032247400040894
- Fuchs, V.E. (1953). Organisation and methods. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, 1, 12.
- Goldring, D.C. (1962). The geology of the Loubet Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 36, 50.
- Gourdon, I. (1908). Expedition Antartique Francaise (1903-1905) comande par le Jean Charcot, Geographie physique – Glaciologie, Petrographie. Paris.
- Grikurov, G.E., Krylov, A.Ya., Silin, Yu.I. (1966). Absolute age of certain rocks in the Marguerite Bay region of the Antarctic Peninsula. *Proceeding of Academy Science USSR, Geological Science section*, 171, 127-130.
- Halpern, M. (1962). Potassium-Argon Dating of Plutonic Bodies in Palmer Peninsula and Southern Chile. *Science*, 138, 1261-1262. DOI: 10.1126/science.139.3560.1191
- Halpern, M. (1965). The geology of the General Bernardo O'Higgins area, Northwest Antarctic Peninsula. *Geology and Paleontology of the Antarctic*, 6, 177-209. doi.org/10.1029/AR006p0177
- Halpern, M. (1967). Rubidium-Strontium Age Measurements of Plutonic Igneous Rocks in Eastern Ellsworth Land and Northern Antarctic Peninsula, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, 72, 20, 5133-5142. doi.org/10.1029/JZ072i020p05133
- Halpern, M. (1971). Rb-Sr total-rock and mineral ages from Marguerite Bay area, Kohler Range and Fosdick Mountains. In Adie R.J. ed. *Antarctic geology and geophysics*. Oslo, Universitetsforlaget, 197-204.
- Hawkes, D.D., Littlefair M.J. (1981). An occurrence of molybdenum, copper, and iron mineralization in the Argentine Islands, West Antarctica. *Economic Geology*, 76, 4, 898-904. doi.org/10.2113/gsecongeo.76.4.898
- Holtehdahl, O. (1929). On the geology and physiography of some antarctic and sub-antarctic islands. *Scientific results of the Norwegian Antarctic Expeditions, 1927-28*, 3, 172.
- Hooper, P.R. (1962). The petrology of Anvers Island and adjacent Islands. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, 34, 69.
- Leat, P.T., Scarrow, J.H., Millar, I.L. (1995). On the Antarctic Peninsula Batholith. *Geological Magazine*, 132, 4, 399-412. doi.org/10.1017/S0016756800021464
- Milne, J. (1987). The geology of southern Oscar II Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 75, 73-81.
- Moyes, A.B. (1986). The Jinks Island Complex: magma mixing in a high-level intrusion from the Biscoe Islands, Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin*, 70, 55-69.
- Nelson, P.H.H. (1966). The James Ross Island Volcanic Group of north-east Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 54, 62.
- Nordenskiöld, O. (1904a). The Swedish Antarctic Expedition: I. Summary of events, II. Scientific work at the winter station. *The Geographical Journal*, 23, 2, 207-215. doi.org/10.2307/1775069
- Nordenskiöld, O. (1904b). The Swedish Antarctic Expedition. *The Geographical Journal*, 24, 1, 30-53. doi.org/10.2307/1776555
- Pankhurst, R.J. (1982). Rb-Sr geochronology of Graham Land, Antarctica. *Journal of the Geological Society*, 139, 6, 701-711. doi.org/10.1144/gsjgs.139.6.0701

Parada, M.A., Orsini, J.B., Ardila, R., Guerra, R., Munizada, F., Berg, K. (1990). The plutonic rocks of the southern Gerlache Strait, Antarctica: geochronology, geochemistry and mineralogy. *Symposium International "Geodynamique Andine"*, Grenoble, France, 293-295.

Petermann, A. (1975). Deutsche Entdeckungen am Südpol (Geographie und Erforschung der Polar-Regionen). *Petermanns geographische Mitteilungen*, 21, 312.

Petermann, A. (1975). Süd-polar-Karte (maassstab 1:40000000). Stieler's Hand-Atlas. №11. Gotha: Justus Perthes, 1875.

Rex, D.C. (1976). Geochronology in relation to the stratigraphy of the Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin*, 43, 49-58.

Rymill, J.R. (1938a). British Graham Land Expedition, 1934-37. *The Geographical Journal*, 91, 4, 297-312. doi.org/10.2307/1788186

Rymill, J.R. (1938b). British Graham Land Expedition, 1934-37 (Continued). *The Geographical Journal*, 91, 5, 424-434. https://doi.org/10.2307/1787503

Scott, M. (1965). Geology of the Southern Gerlache Strait Region, Antarctica. *The Journal of Geology*, 73, 3, 518-527. doi.org/10.1086/627084

Smellie, J.L., Moyes, A.B., Marsh, P.D., Thomson, J.W. (1985). Geology of Hugo Island, Quintana Island, Sooty rock, Betbeder Islands and parts of the Biscoe and Outcast Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 68, 91-100.

Stewart, J. (2011). Antarctica an Encyclopedia (second edition). *McFarland & Company, Inc., Publishers*, Jefferson, North Carolina and London.

Thomson, M.R.A. (1972). New discoveries of fossils in the Upper Jurassic Volcanic Group of Adelaide Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, 30, 95-101.

Thomson, M.R.A. (1975). New palaeontological and lithological observations on the Legoupil Formation, north-west Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin*, 41, 169-185.

Thomson, M.R.A., Pankhurst R.J. (1983). Age of post-Gondwanian calc-alkaline volcanism in the Antarctic Peninsula region. In Oliver L.R., James P.R. and Jago J.B. (eds.) *Antarctic Earth Science*. Australian Academy of Science, Canberra, 328-333.

West, S.M. (1974). The geology of Danco Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 84, 58.

Wordie, J.M. (1946). The Falkland Islands Dependencies Survey, 1943-46. *Polar Record*, 4, 32, 372-384. doi.org/10.1017/S0032247400042479

Надійшла до редколегії 11.06.21

O. Mytrokhyn, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasyliivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOLOGICAL INVESTIGATIONS IN THE UKRAINIAN ANTARCTIC STATION REGION BEFORE 1996

The author submits a chronological account on the history of geological exploration on the Graham Coast and the Wilhelm Archipelago of West Antarctica within the time interval from 1819 to 1996. The state of geological exploration of this area before the creation of the Ukrainian Antarctic Station (UAS) here is determined. A number of conclusions were made regarding: the temporal sequence of individual studies and the geological specifics of the territories covered by them; conditions for carrying out and features of the organization of field works; the reliability of the results of individual geological surveys; the presence of unexplored territories. It was found out that all reconnaissance and geological survey work in the study area was carried out in the 30-50s of the XXth century. Medium-scale geological surveys of individual parts of the Graham Coast and adjacent islands were carried out under unfavorable conditions. This led to the fragmentariness of the created geological maps and their heterogeneous support by field observations. Due to poor ice conditions and local features of the organization of geological routes, numerous bays on the Graham Coast, as well as its hard-to-reach inland territories, have remained completely unexplored. Also, many of the islands of the Wilhelm Archipelago were not covered by geological survey. In particular, there was no way to explore those islands that are remote from the navigable Lemaire Channel, Penola Strait and Grandidier Channel. The Argentine Islands are the only site where a large-scale geological survey has been carried out. But the available large-scale geological map of the Argentine Islands has a number of significant disadvantages. The map contains only petrographic data. There are no elements of bedding of rocks, tectonic deformations, zones of postmagmatic changes, manifestations of ore mineralization. The spatial distribution of the main petrographic representatives does not always correspond to the true one. The relative ages of individual geological bodies are insufficiently substantiated, and sometimes, in general, are determined incorrectly. All of the above-mentioned explains why the level of geological knowledge about the area at the time of the creation of the UAS here remained much worse than in the adjacent territories.

Keywords: geology, West Antarctica, Graham Coast, Wilhelm Archipelago.

A. Митрохин, д-р геол. наук, проф.
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЙОНА УКРАИНСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ "АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ" ДО 1996 ГОДА

Подготовлен хронологический очерк по истории геологических исследований Берега Грея и архипелага Вильгельма Западной Антарктики для временного интервала с 1819 по 1996 г. Определяется состояние геологической изученности этого района на момент создания здесь Украинской антарктической станции "Академик Вернадский" (УАС). Сделан ряд выводов относительно: временной последовательности отдельных исследований и геологической специфики охваченных ими площадей; условий проведения и особенностей организации полевых работ; достоверности результатов отдельных геологических съемок; наличия территорий недостаточно или совсем неохваченных исследованиями. Выяснено, что все рекогносцировочные и геолого-съёмочные работы в районе исследований были выполнены в 30-50 гг. XX ст. Среднемасштабная геологическая съемка отдельных участков Берега Грея и прилегающих к ним островов проводилась при неблагоприятных условиях. Это обусловило фрагментарность созданных геологических карт и неоднородную обеспеченность их полевыми наблюдениями. В связи с плохой ледовой обстановкой и местными особенностями организации геологических маршрутов многочисленные заливы, углубляющиеся в Берег Грея, а также его труднодоступные внутренние территории остались совершенно неизученными. Также не охвачена геолого-съёмочными работами значительная часть островов архипелага Вильгельма, особенно те из них, которые удалены от судоходных проливов Лемэр, Пенола и Грандидиер. Единственным участком, где была выполнена крупномасштабная геологическая съемка, являются Аргентинские острова. Имеющаяся в наличии крупномасштабная геологическая карта Аргентинских островов, а также схема расчленения местных магматических образований имеют ряд существенных недостатков. На карту нанесены лишь петрографические данные. На ней отсутствуют элементы залегания горных пород, тектонические деформации, зоны постмагматических изменений, проявления рудной минерализации. Пространственная распространенность главных петрографических представителей не всегда соответствует истинной. Относительный возраст отдельных геологических тел недостаточно обоснован, а иногда вообще определен ошибочно. Все перечисленное объясняет, почему уровень геологической изученности района на момент создания здесь УАС оставался намного худшим по сравнению со смежными территориями.

Ключевые слова: геология, Западная Антарктика, Берег Грея, архипелаг Вильгельма.

УДК [561:551.763] (477.7)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.03>

О. Шевчук, канд. геол. наук, пров. наук. співроб.,
E-mail: hshevchuk@ukr.net,
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55 б, м. Київ, 01601, Україна;
Д. Пустовойтова, студ.,
E-mail: jamm3782@gmail.com,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СТРАТИФІКАЦІЯ КРЕЙДОВИХ ВІДКЛАДІВ РОЗРІЗУ СВЕРДЛОВИНИ № 29 – ЗАХІДНО-ОКТАБРЬСЬКОЇ (КАРКІНІТСЬКО-ПІВНІЧНОКРИМСЬКИЙ ПРОГИН) ЗА ПАЛІНОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.В. Огарем)

Каркінітсько-Північнокримський прогин є перспективним регіоном України щодо пошуків вуглеводнів, а одним із головних нафтогазоносних комплексів є крейдовий. Тому важливо і необхідно детальне біостратиграфічне розчленування крейдових відкладів, що є основою для подальших пошукових робіт і для кореляції досліджених крейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримської прогину з одновіковим відкладами суміжних регіонів. Особливо проблемною для розчленування і кореляції є слабодосліджена неоконська товща. За результатами вивчення мікрофітофосилій проведено стратифікацію крейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину на прикладі опорної свердловини № 29 – Західно-Октябрьської. Виділено чотири спорово-пилкові комплекси: баремський, аптський, альбський та сеноманський. На досліджуваній території вперше проведено розчленування крейдових порід за систематичним складом диноцист, а також доповнена палеонтологічна характеристика відкладів за іншими групами мікрофосилій – спори та пилок вищих рослин, рештки зелених водоростей, акритархи та мікрофорамініфери.

Ключові слова: біостратиграфія, диноцисти, спорово-пилкові комплекси, крейдові відклади, Каркінітсько-Північнокримський прогин.

Вступ та постановка проблеми. Крейдові відклади Каркінітсько-Північнокримського прогину належать до недостатньо вивчених як у плані геологічної будови, так і палеонтологічної характеристики та детальної стратифікації відкладів, особливо нижньокрейдових.

Перспективність нижньокрейдових відкладів підтверджена відкриттям Західнооктябрьського і Тетянівського газоконденсатних родовищ і численними нафтогазопоясами на Борисівській, Серебрянській, Задорненській та інших площах (Мельничук, 2003), а також відкриттям нафтових і газових родовищ на сусідніх територіях – Румунському шельфі та північному Кавказі. Нафтогазоносність крейдового комплексу пов'язана з пісковиками неокон-апту та вулканогенно-упамковими породами альбу, що залягають на технічно доступних глибинах. Основними субрегіональними покривками є глинисті утворення нижньої, середньої та верхньої частин верхньоальбських під'ярусів (Жабіна та ін., 2015; Колодій, 1971).

Історія вивчення крейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину. У 2000-ні рр. широкий розмах отримують геологічні дослідження, пов'язані з глибоким бурінням і пошуком корисних копалин на території Криму. Значний внесок у з'ясування геологічної будови та стратиграфії цих утворень зробили О.Т. Богаєць, В.Г. Бондаренко, С.М. Захарчук, Л.Г. Плахотний, І.В. Карпенко, Л.Ф. Плотнікова, Р.І. Лещух, Г.М. Волошина, Г.А. Орлова-Турчина, Л.М. Голубнича, М.А. Воронова, О.Ю. Каменецький, Н.І. Черняк, В.Є. Железняк, М.Д. Менкес, Н.М. Жабіна, Я.М. Тузьяк, М.В. Козленко, Н.А. Савицька, Р.А. Коваленко, Л.Г. Мінтузова, Н.А. Трофимович та ін. (Стратиграфія, 2013; Іщенко та ін., 2016).

Поряд із традиційними геологічними методами почало широко застосовуватись математичне моделювання з використанням комп'ютерної 3D графіки для вивчення геологічних процесів, а також дослідження геодинамічних процесів цього регіону (Єсіпович, 2002).

Значний внесок у розвиток паліостратиграфії нижньої крейди Криму зробили М.А. Воронова, С.Б. Куваєва, Г.А. Орлова-Турчина та ін. (Стратиграфія..., 2013; Орлова-Турчина, 1966; Воронова, 1994). Вивчені

палінокомплекси берріасу, валанжину, готеріву, барему, апту та альбу Криму супроводжувалися фауністичними знахідками, у тому числі зональних видів амонітів і форамініфер (Іщенко та ін., 2016).

До сьогодні крейдові відклади Каркінітсько-Північнокримського прогину не були охарактеризовані палеоальгологічним методом.

Геологічна будова району досліджень. Каркінітсько-Північнокримський прогин є субширотною і асиметричною западиною, що зливається на сході із Сиваською, з якою вони становлять єдину глибоку зону опускання в північній частині рівнинного Криму. Вони розташовані в зоні зчленування Східноєвропейської платформи і Скіфської плити. Мезозойські й кайнозойські осадові товщі, що заповнюють їх, лягають таким чином як на палеозойський, так (у північній частині) і на докембрійський фундаменти. Північний борт прогину є похилою моноклінальною південного падіння, яка ускладнена виступами, структурними носами, рідше локальними складками, проявленими здебільшого в нижніх горизонтах осадового чохла. Центральна частина прогину та його південний борт побудовані значно складніше. У відкладах апту-альбу це чітко виражений грабен, обмежений з півдня і з півночі системою розломів як поздовжнього, так і діагонального орієнтування з амплітудою зміщення по докрейдових відкладах близько 1,5–2 км (Сидоренко, 1969).

Каркінітсько-Північнокримський прогин охоплює північну частину Рівнинного Криму та прилеглу до нього із заходу акваторію північно-західного шельфу Чорного моря. Південним закінченням прогину є схил Каламітсько-Центральнокримського мегапідняття та його акваторіального продовження.

Початок формування Каркінітсько-Північнокримського прогину відносять до початку альбського часу. В його межах без перерви від нижньої крейди до міоцену відклалися 3500–3600 м осадових утворень. Докрейдвий фундамент Каркінітсько-Північнокримського прогину розбитий диз'юнктивними порушеннями і має блокову будову. Найбільш виражені підняття і порушення розташовані на південному крилі прогину, яке

ускладнено трьома рядами куполоподібних складок, що об'єднуються іноді під назвою Тарханкутського вала (Сидоренко, 1969).

Каркінітсько-Північнокримський грабеноподібний прогин виповнений потужною товщею (до 10–11 км) мезозойсько-кайнозойських відкладів. Теригенні утворення нижньої крейди в прогині розвинуті достатньо широко. Вони залягають на утвореннях кристалічного фундаменту, верхнього тріасу чи середньої юри і перекриваються відкладами верхньої крейди. Розкрита товщина відкладів нижньої крейди від 230 м на заході Тарханкутського півострова (Чорноморська площа) до 2350 м в осьовій частині прогину (Серебрянська площа). В їхньому складі зустрічаються аргіліти з підпорядкованим значенням вулканогенноламакових порід, пісковиків та алевролітів (Геологія..., 1984; Гожик та ін., 2006; Іщенко та ін., 2016).

Матеріал, методи та методики досліджень мікрофосилій. Об'єктом дослідження були мікрофосилії з крейдових відкладів свердловини № 29, пробуреної на

території Західнооктябрської площі Каркінітсько-Північнокримського прогину (рис. 1). Особливу увагу зосереджено на ортостратиграфічній групі – динофлагелят з метою детальної стратифікації відкладів.

Аналітичні роботи виконувалися за допомогою мікроскопа "Ергавал" і МБІ-6, фотографування проводилося цифровим фотоапаратом для мікрозйомки Konica Minolta Dimage X50 в Інституті геологічних наук НАН України. Зразки мікрофосилій зберігаються у відділі палеонтології і стратиграфії мезозойських відкладів Інституту геологічних наук НАН України. Ілюстровані мікрофосилії ідентифікуються за NRM-чисел і позначені за допомогою шукача координат (England-finder). У визначенні систематичного складу паліноморф використовувалися валідні таксони, прийняті як в українській, так й іноземній літературі (Воронова, 1994; Williams et al., 2017). Для ідентифікації диноцист застосована класифікація Р.А. Фенсоне та ін. (Fensome et al., 1993).

Загалом палінологічно досліджено 15 зразків порід з розрізу, що розкритий глибокою св. № 29.

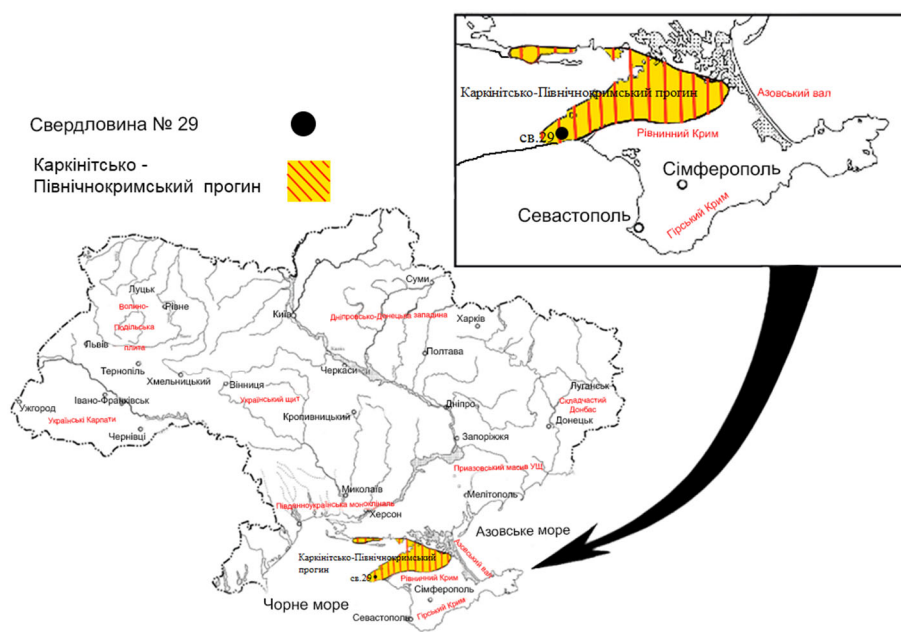


Рис. 1. Оглядова карта

У результаті дослідження застосовано комплексний підхід із застосуванням літо- і біостратиграфічних методів. Основним методом досліджень був палінологічний: спорово-пилковий, палеоальгологічний; кутикулярний аналізи та ін.

У розрізі, що вивчався, були подані різні за віком і літологічним складом породи. Тому насиченість відкладів мікрофітофосиліями була різною. З огляду на це, важливим елементом досліджень був підбір індивідуальних методик обробки порід. Виявлення диноцист, спор і пилку вищих рослин, мацерацію порід проводили сепараційним способом, розробленим В.П. Гричуком (Гричук та ін., 1948) з деякими уточненнями: порода розчиняється в 10 % розчині соляної кислоти, заливається гарячим розчином пірофосфату натрію і відмивається від колоїдних глинистих частин, промивається через кожні 2–3 години дистильованою водою сифонним пристроєм, вода зливається до відмітки 2 см над осадам, після чого проводиться сепарація у важкій кадмієвій рідині з питомою вагою 2,25 (для спорово-пилкового аналізу) та 2,0 (для виокремлення диноцист).

Загальна характеристика групи. Диноцисти відіграють важливу роль для стратиграфії і є ортостратиграфічною групою. Але, якщо для деяких територій в силу високого ступеня вивченості вже розроблено й успішно застосовуються зональні шкали за диноцистами, то в інших регіонах ці завдання ще тільки вирішуються.

Історія дослідження диноцист в Україні. Уперше відмічено поодинокі диноцисти в крейдових відкладах на території Волині М.А. Вороноюю і Л. Каревою (Воронова і Карева, 1989) та в юрських і крейдових відкладах інших територій України (Воронова і Яновская, 1981). М.Є. Огороднік проводила палінологічні (у тому числі й палеоальгологічні) дослідження юрських і крейдових відкладів Передкарпатського прогину та нижньокрейдових – Азовського моря (Огороднік, 2006, 2007). На території Закарпатського прогину і Карпат А.С. Андреевою-Григорівич проведено дослідження пограничних крейдових і палеогенових відкладів за допомогою методу палеоальгології, установлено біозональні підрозділи за диноцистами (Григорівич, 1979; Вялов та ін., 1989 а, б). Група польських і словацьких дослідників (палінолог –

Д. Рехакова) проводили розчленування юрських відкладів Карпат, у тому числі й українських за диноцистами (Rehakova et al., 2011). Біостратиграфічні дослідження юрських і крейдових відкладів усієї території України за групою диноцисти були розпочаті О.А. Шевчук уперше в 2005 р. і продовжуються сьогодні (Шевчук, 2005, 2006, 2011, 2013, 2020; Shevchuk and Vajda, 2016).

Вивчення пізньоюрських-ранньокрейдових органіко-стінних диноцист Гірського Криму почалося більше десяти років тому в ході проведення комплексних палеонтологічних досліджень юрських і крейдових відкладів досліджуваного регіону (Доротяк та ін., 2009; Shevchuk and Vajda, 2014).

Незважаючи на багатопланову і багаторічну історію вивчення мезозойського осадового комплексу України, мікрофито-лінійні дослідження крейдових відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину до недавнього часу не проводилися.

О.А. Шевчук та Д. Пустовойтовою вперше проведено дослідження крейдових відкладів за ортостратиграфічною групою диноцисти на території Каркінітсько-Північнокримського прогину, результати викладено в цій статті.

Результати досліджень. Сукупність спектрів, в яких простежується подібність якісних і кількісних показників, а також особливі риси, що дозволяють відрізнити їх від спектрів нижче і вище залягаючих відкладів, об'єднуються в палеонотичні комплекси (або спорово-пилкові комплекси і комплекси мікрофітопланктону та ін.). Таким чином, комплекс характеризує певний інтервал розрізу, відображає відповідний етап розвитку флори в межах досліджуваного регіону і фаціальні особливості відкладів. Комплекси є основою для виділення біостратиграфічних підрозділів за палеонотичними даними (палеостратонів): верств зі спорами і пилком або з

диноцистами, а також палеонотичних зон. Границями палеостратонів служать рівні зміни якісного і кількісного складу комплексів, які встановлюються за сумою ознак: поява нових видів, зникнення і максимальна присутність окремих таксонів, збільшення видового різноманіття (Шевчук, 2018). Отже, палеостратони є біостратиграфічними підрозділами комплексного об'єднання. Трактуючи верств з диноцистами, спорами і пилком, прийнятими в цій роботі, відповідають вимогам Стратиграфічного кодексу України (Стратиграфічний..., 2012).

Палеоморфи є складовими палеонотичного комплексу, який поширений в межах басейну осадконакопичення. До складу палеоморф включають не тільки пилкові зерна і спори, але й динофлагелати, мікрофосілі, сілікофлагелати. Сьогодні термін "палеоморфи" широко вживається в разі відтворення умов седиментації та кореляції відкладів за палеонотичними даними і використовується як синонім для визначення всього комплексу мікрофосілій рослинного, тваринного і проблематичного походження, який виділяють у результаті сепараційних методів обробки порід.

Вивчено органіко-стінний мікрофітопланктон – диноцист і супутні мікрофосілі з метою детального розчленування розрізів крейди Каркінітсько-Північнокримського прогину. На основі детальних досліджень виявлено видовий склад і розподіл диноцист за розрізом, а також складено геологічну послідовність комплексів динофлагелат з розрізу св. № 29 (рис. 2). У відкладах св. № 29, що представлені пісковиками, аргілітами, алевролітами та глинами Каркінітсько-Північнокримського прогину, встановлено баремський, аптський, альбський та сеноманський спорово-пилкові комплекси і вперше визначено комплекси диноцист барему, апту, альбу та сеноману.

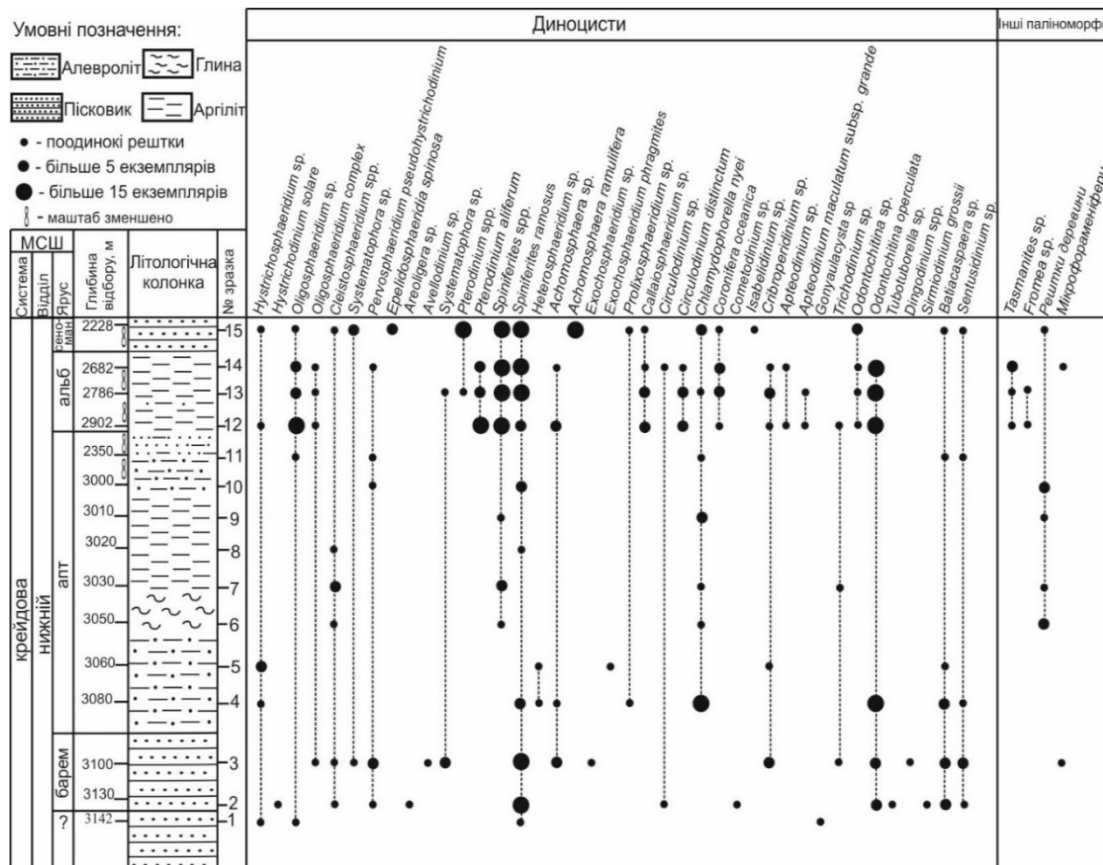


Рис. 2. Розріз крейдових відкладів, розкритий св. № 29, і стратиграфічне поширення диноцист і супутніх мікрофосілій

У мацератах зр. 1 (гл. 3142 м) із відкладів св. № 29 мало диноцист: поодинокі *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell., *Hystriochosphaeridium* sp., *Gonyaulacysta* sp. та *Oligosphaeridium* sp. У складі спорово-пилкового комплексу присутні поодинокі *Lycopodiumsporites* sp. та *Pinuspollenites* sp. Вік у цьому стратиграфічному інтервалі не встановлено.

Баремський ярус. Відклади баремського ярусу Рівнинного Криму представлені різнофаціальними утвореннями – сіро- і строкатокорінними континентальними, прибережними і мілководними морськими (гравелітами, конгломератами, алевролітами, пісковиками, аргілітами з малопотужними прошарками органогенно-детритових вапняків). Товщина відкладів баремського ярусу в Північно-кримському прогині становить декілька метрів. Треба відмітити, що баремські відклади Рівнинного Криму є найменш дослідженими, а на території Північнокримського прогину взагалі палеоніологічно не охарактеризовані. Незначна кількість кернавого матеріалу та недостатня його палеонтологічна та літологічна вивченість, різнофаціальний склад утворень тривалий час ускладнювали кореляцію означених відкладів на території дослідження.

Диноцисти. У проміжку 3130–3100 м св. № 29 простежено комплекс диноцист зони *Odontochitina operculata* (Gradstein et al., 2012), що датується баремом. Установлено великий вміст *Cribroperidinium* sp., *Pervosphaeridium pseudohystriochodinium* (Deflandre) Yun Hyesu., *Batiacaspaea* sp., *Sentudinium* sp. У комплексі характерне домінування *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell, дещо менше *Systematophora* sp., *Achomosphaera* sp., *Areoligera* sp., *Tubotuborella* sp., *Avellodinium* sp., *Circulodinium* sp. та ін. Постійними компонентами є *Dingodinium* spp., *Sirmiodinium grossii* Alberti, *Cleistosphaeridium* spp. Відмічаються поодинокі *Oligosphaeridium complex* (White) Davey and Williams, *Trichodinium* sp., *Exochosphaeridium* sp., *Cometodinium* sp., *Hystriochosphaeridium solare* Pestchevitskaya та зональний вид *Odontochitina operculata* (O. Wetzel) Deflandre and Cookson. Відмічено проксиматні диноцисти поганої збереженості. Простежена і вперше

встановлена на території України зона *Odontochitina operculata* відповідає однойменній зоні (у цьому ж стратиграфічному діапазоні) Міжнародної стратиграфічної шкали (Gradstein et al., 2012; 2020).

Баремський спорово-пилковий комплекс характеризується незначним переважанням пилку голонасінних (до 55 %) над спорами папоротеподібних (45 %). Спорова частина відрізняється різноманіттям спор схизейних: *Cicatricosisporites* sp., *Cicatricosisporites perforatus* (Mark.) Dor., *Appendicisporites stricornitatus* (Mark.) M. Voronova, *Trilobosporites* sp., *Pilososporites trichopapillosus* (Thiergart) Delc. And Sprum., *Klukisporites variegates* Coup. та поодинокі *Pelletieria* sp., *Pelletieriatersa* (K.-M.) Bolch. Серед глейхенієвих відмічені мілкі форми з гладкою скульптурою екзини: *Plisiferadelicata* (Bolch.) Bolch, *Gleichenioidites senonicus* Ross., *G. laetus* (Bolch.) Bolch. У невеликій кількості присутні спори матонієвих (*Matoniasporites phlebopteroides* Coup.), диксонієвих (*Coniopteris* sp.), циатейних (*Cyathidites australis* Coup., *C. minor* Coup.), а також *Leiotriletes* sp., *Trachytriletes* sp., *Chomotriletes* sp. та *Staplinisporites caminus* (Balme) Pock. Постійно зустрічаються спори, зближені із селягінелевими (*Densoisporites velatus* Weyl. And Krieg.) і плауноподібними (*Lycopodiumsporites* spp.). Клас голонасінних представлений пилковими зернами переважно *Cheilelepidiaceae*, відмічений пилко родин *Pinaceae*, *Podocarpaceae*, *Cupressaceae*, *Caytoniaceae*, поодинокі пилкові зерна *Eucomiidites* sp. Оскільки у зразках з гл. 3100 м уперше зустрічаються декілька екземплярів пилкових зерен найдавніших покритонасінних рослин (*Angiospermae*) *Clavatipollenites* sp., що характерні для вікового діапазону пізнього барему, можна припустити, що вік вмісних відкладів можливо датувати як пізньобаремський (рис. 3). Установлено органічну складову мікрофлорамініфер (устілка, що повторює форму мушлі).

Відклади датовані пізнім баремом за даними спорово-пилкового аналізу та за вперше проведеними палеоальгологічними дослідженнями на території Каркінітсько-Північнокримського прогину.

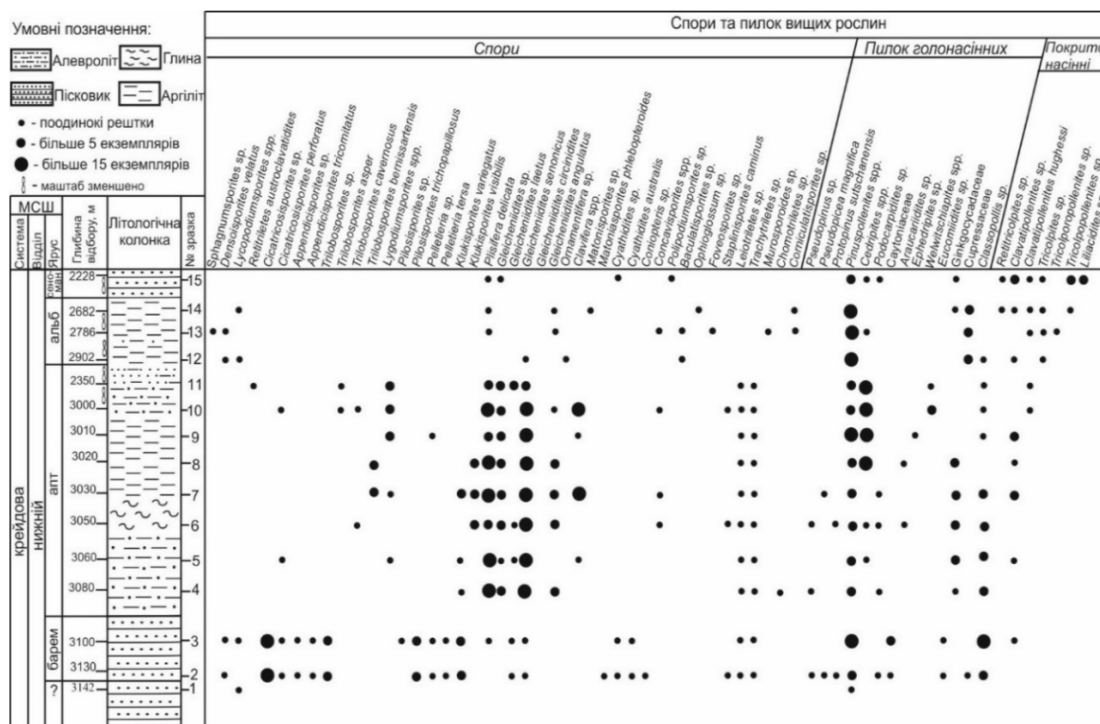


Рис. 3. Розріз крейдових відкладів, розкритий св. № 29 та стратиграфічне поширення спор і пилку

Аптський ярус. Відклади аптського ярусу розповсюджені на всій території Рівнинного Криму. Вони характеризуються фаціальною мінливістю, але представлені, головним чином, морськими утвореннями: аргілітами, алевролітами та пісковиками з підпорядкованим значенням органогенних вапняків, мергелів, конгломератів, гравелітів тощо. Товщина аптських відкладів доволі стала і становить у середньому 100–150 м. Характерна наявність вуглефікованих рослинних решток (*Стратиграфія...*, 2013). У середньоаптський час на території Півдня України фіксується регіональний перерив в осадконакопиченні (*Іщенко та ін.*, 2016).

Диноцисти. У проміжку 3080–2350 м св. № 29 встановлено незначний вміст диноцист, а в деяких зразках взагалі поодинокими екземплярами. Серед виявлених диноцист більше *Odontochitina operculata* (O. Wetzel) Deflandre та *Chlamydomphorella nyei* Cookson and Eisenack, постійними компонентами є *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell, *Sentusidinium* sp., *Batiacaspiera* sp., *Hystichosphaeridium* sp., *Heterosphaeridium* sp., *Cleistosphaeridium* sp., відмічаються поодинокі *Exochosphaeridium phragmites* Davey et al., *Prolixosphaeridium* sp., *Achomosphaera* sp., *Cribroperidinium* sp., *Spiniferites* spp. На цьому стратиграфічному рівні біостратиграфічні підрозділи за диноцистами в Міжнародній стратиграфічній шкалі не виділяються (*Gradstein et al.*, 2012; 2020).

Аптський спорово-пилковий комплекс відрізняється від баремського переважанням спор папоротеподібних (до 80 %) над пилом голонасінних, який становить до 20 %. Спорова частина комплексу багата і різноманітна. Основною її рисою є переважання спор глейхенієвих (до 55 %): *Plicifera delicata* (Bolch.) Bolch, *Gleichenioidites circinoides* (Cook.) Brenn., *G. senonicus* (Ross.) Grig., *Clavifera triplex* (Bolch.) Bolch, *C. tuberosa* (Bolch.) Bolch., *C. rudis* (Bolch.) Bolch. та ін. Постійно присутні спори *Concavisporites junctum* (K. – M.) E. Sem., *C. juriensis* Balm. Також різноманітно подано папоротеподібні родів *Cicatricosisporites*, *Pelleteria* родини Schizaeaceae. Найбільшим видовим різноманіттям представлено спори, що мають гладку, шагренієву, бугорчасту, шипувату екзину, які порівнюють з представниками сучасного роду *Lygodium*. Вони представлені багатьма видами, з яких головними є *Lygodiumsporites subsimplex* (Bolch.) Bolch., *L. multiberculatum* (Bolch.) Bolch., *Trilobosporites* sp., *Trilobosporites asper* (Bolch.) M. Voronova, *T. cavernosus* (E. Ivan.) M. Voronova, *T. bernissartensis* (Delc. and Sprum.) Pot. Часті у спектрах спори з вічкуватою і сітчасто-вічкуватою скульптурою, що віднесені до роду *Klukisporites* (*Klukisporites visibilis* (Bolch.) Bolch.). Характерними є спори плаунів *Retitriletes austroclavatidites* (Cookson) Doring et al. У споровій частині знайдено форми, віднесені до штучних таксонів – груп *Leiotriletes*, *Trachytriletes*, *Staplinisporites*. Клас голонасінних представлений невеликою кількістю пилкових зерен. Зустрічається пилко *Pseudo picea magnifica* Bolch., *Pseudopinus* sp., *Protopinus sutschanensis* Verb. Варто відмітити, що пилко хвойних давнього вигляду хоч і перерахований, але трапляється в дуже незначній кількості і дуже рідко. Нечисленний, але постійний в комплексі пилко подокарпових, соснових (*Pinuspollenites* sp., *Cedripites* sp., *Podocarpus major* (Naum.) Bolch.). Пилко бенетитових і гімнових зустрічається в більшості спектрів, також присутній пилко *Ephedripites* sp., *Welwitschiapites* sp., *Welwitschiapites Alekhinii* Bolch. У комплексі характерна присутність пилку *Classopollis* sp. (10 %). Зустрічаються декілька екземплярів пилкових зерен найдавніших покритонасінних рослин

(Angiospermae) типу *Clavatipollenites* sp. Також у цьому комплексі відмічено мікрорештки деревини (рис. 2). Цей проміжок розрізу вміщує величезну кількість мікрорешток вищих рослин – спор і пилку і є найбільш насичений на детрит. Порівняно з поодинокими знахідками диноцист це може вказувати на прибережно-морські або континентальні умови.

Відклади датовані аптом в основному за власними даними спорово-пилкового аналізу та даними інших дослідників (*Воронова*, 1994) і доповнені палеоальгологічними даними на території Каркінітсько-Північнокримського прогину.

Альбський ярус. Альбські відклади в Рівнинному Криму широко розповсюджені. Їхня товща змінюється від перших десятків метрів у передгір'ях до понад 2360 м у найбільш зануреній частині Північнокримського прогину (Серебрянська площа). Відклади представлені сірими, темно-сірими (до чорних) алевротитими аргілітами із шарками алевролітів (*Стратиграфія...*, 2013).

Диноцисти. У проміжку 2902–2682 м св. № 29 простежено комплекс диноцист зони *Pterodinium aliferum* (*Gradstein et al.*, 2012; 2020), що датується раннім альбом. Підосва зони добре простежується за появою та домінуванням представників роду *Pterodinium aliferum* Eisenack. Для цього комплексу характерне видове різноманіття родів *Spiniferites* spp., *Oligosphaeridium* spp. та ін. Постійними в комплексі є *Coronifera oceanica* Cookson and Eisenack, *Achomosphaera* sp., *Callaiosphaeridium* sp., *Circulodinium distinctum* (Deflandre and Cookson) Jansonius та *Cribroperidinium* sp., *Apteodinium* sp., *Apteodinium maculatum* subsp. *grande* (Cookson and Hughes) Below, *Trichodinium* sp., *Odontochitina* sp. Встановлений комплекс зони *Pterodinium aliferum* відповідає однойменній зоні (у цьому ж стратиграфічному діапазоні) Міжнародної стратиграфічної шкали (*Gradstein et al.*, 2012). У комплексі присутні рештки зелених водоростей *Tasmanites* sp. та акритархи *Fromea* sp.

Альбський спорово-пилковий комплекс відрізняється від аптського різким зменшенням відсоткового вмісту спор глейхенієвих (*Gleichenioidites senonicus* Ross., *G. Angulatus* (Bolch.) Bolch., *Ornamentifera* sp. Характерні мілкі форми спор роду *Concavisporites* (*Concavisporites juriensis* Balme, *C. kainophyticus* (Krutz.) M. Voronova) та спори, що віднесені до формального роду *Murosporoides* і поодинокі *Matonisporites* sp. Відмічені спори *Corniculatisporites* sp., характерні для альбських спорово-пилкових комплексів. Присутні плаунові та селягінелієві. Спостерігаються спори родин *Osmundaceae*, *Ophioglossaceae* (*Foveosporites* sp., *Ophioglossum* sp.) і мохоподібні. Голонасінні представлені пилом родини *Pinaceae* (*Pinuspollenites* та *Cedripites*), *Cupressaceae* та ін. Участь пилку *Classopollis* sp. – до 3 %. Пилко покритонасінних до – 8 %, він відмічається в основному у вигляді поодиноких зерен і представлений *Clavatipollenites* sp., *Clavatipollenites hughessi* Coup., *Tricolpopollenites* sp., *Tricolpites* sp., *Tricolporopollenites* sp., *Retitricolpites* sp. (рис. 3). У мацераті зразків цього проміжку відмічені дрібні часточки вулканічного скла.

Відклади датовані альбом за віком фауни (*Стратиграфія...*, 2013; *Іщенко та ін.*, 2016), за власними даними спорово-пилкового аналізу та даними інших дослідників (*Орлова-Турчина*, 1966; *Воронова*, 1994) та за вперше проведеними палеоальгологічними дослідженнями на території Каркінітсько-Північнокримського прогину. Границя ярусів апту та альбу проводиться за появою в альбських відкладах

зональних форм диноцист *Pterodinium aliferum* Eisenack (див. фото 3, рис. 4).

Сеноманський ярус. Відклади сеноманського ярусу широко розповсюджені на всій території Рівнинного Криму. Вони представлені ефузивними пірокластичними породами, пісковиками, кременистими алевролітами, мергелями глинистими. Товщина відкладів близько 300 м (*Стратиграфія...*, 2013).

Диноцисти. У зразках з гл. 2228 м св. № 29 встановлено диноцисти сеноманського віку: *Epelidosphaeridia*

spinosa (Cookson and Hughes) Davey – зональний вид (рис. 4, фото 2), *Isabelidinium* sp. Відмічено багато *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell., *Achomosphaera ramulifera* (Deflandre) Evitt., *Pterodinium* spp., *Systematophora* sp., *Chlamydophorella nyei* Cookson and Eisenack, постійні – *Odontochitina* sp., поодинокі – *Oligosphaeridium* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Pervosphaeridium pseudohystrichodinium* (Deflandre) Yun Hyesu., *Prolixosphaeridium* sp., *Callaiosphaeridium* sp., *Batiacasphaera* sp., *Sentusidinium* sp.

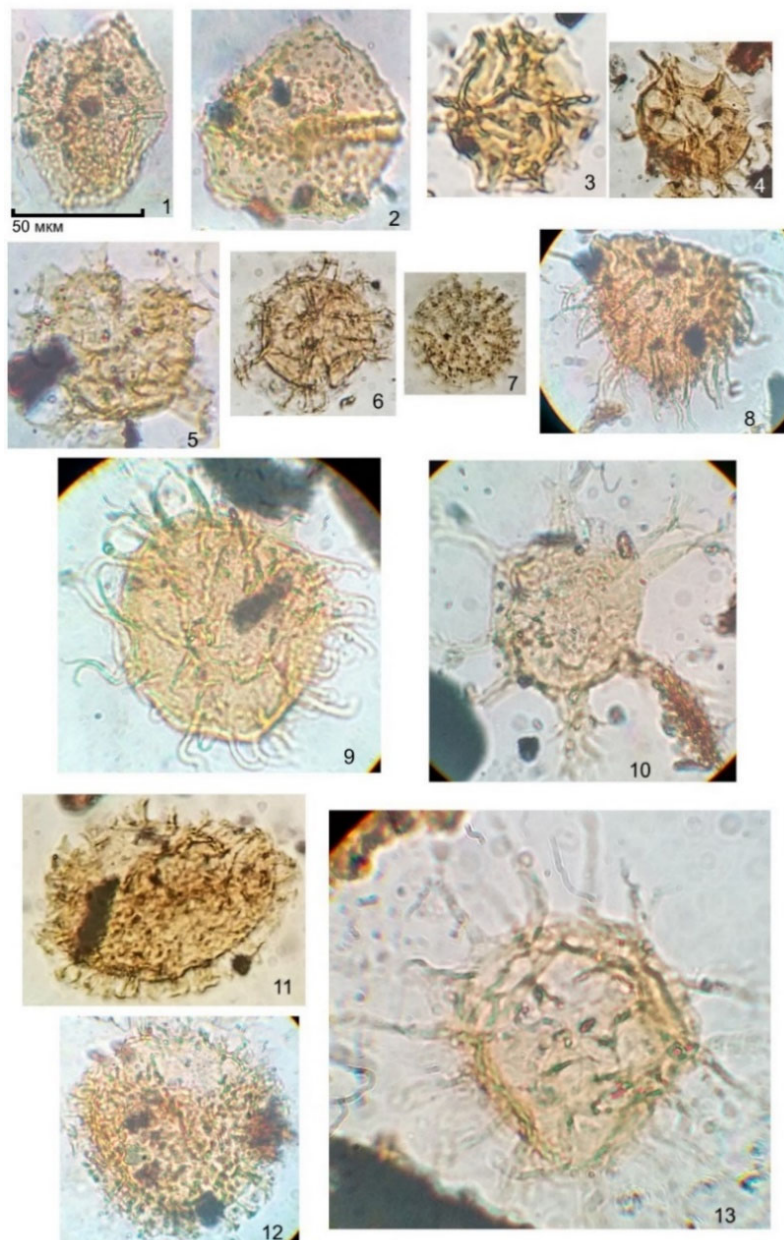


Рис. 4. Диноцисти барем-альбських відкладів св. № 29:

1. *Trichodinium* sp., зр. 12, альб; 2. *Epelidosphaeridia spinosa* (Cookson and Hughes) Davey, зр. 15, сеноман;
3. *Pterodinium aliferum* Eisenack, зр. 12, альб; 4. *Spiniferites* sp., зр. 7, апт; 5. *Callaiosphaeridium* sp., зр. 13, альб;
6. *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell, зр. 2, барем; 7. *Chlamydophorella nyei* Cookson and Eisenack, зр. 4, апт;
8. *Prolixosphaeridium* sp., зр. 4, апт; 9. *Achomosphaera* sp., зр. 3, барем;
10. *Oligosphaeridium complex* (White) Davey and Williams, зр. 7, апт; 11. *Circulodinium* sp., зр. 2, барем;
12. *Circulodinium distinctum* (Deflandre and Cookson) Jansonius, зр. 12, альб; 13. *Hystrichodinium solare* Pestchevitskaya, зр. 2, барем

Сеноманський спорово-пилковий комплекс. Участь спор папоротеподібних невелика – до 15 %, пилку голонасінних і покритонасінних – до 75 %. У цьому спорово-пилковому комплексі загальна кількість

екземплярів у мацератах невелика порівняно з іншими комплексами. Рідко зустрічаються спори *Gleicheniidites* sp., *Plicifera delicata* (Bolch.) Bolch., *Cyathidites* sp., *Lygodiumsporites* sp. Часто трапляються бобоподібні

спори родини Polypodiaceae (*Polipodiumsporites* sp.). У комплексі присутній різноманітний пилок голонасінних – до 50 %. Пилок Ginkgocusadaceae зустрічається рідко й не в усіх спектрах. Характерною особливістю комплексу є домінування серед голонасінних пилок хвойних родини Pinaceae. Він представлений головним чином родами *Pinuspollenites* spp. та поодинокими екземплярами пилок *Cedripites* spp. Також присутній пилок родини Podocarpaceae (*Podocarpidites* sp.) в незначних кількостях. Трапляється різноманітний пилок покритонасінних – до 25 %. Переважає пилок *Liliacidites* sp. та пилок, визначений за штучною

класифікацією: *Tricolpopollenites* sp. Домінують пилкові зерна *Clavatipollenites* sp. (рис. 3).

Відклади датовані сеноманом за віком фауни (*Стратиграфія...*, 2013), даними спорово-пилкового аналізу та за вперше проведеними палеоальгологічними дослідженнями на території Каркінітсько-Північнокримського прогину.

У статті (рис. 4–6) подано фотозображення диноцист і супутніх мікрофосилій – спор і пилок вищих рослин, рештки деревини та мікрофорамініфер з баремських, аптських, альбських і сеноманських відкладів.

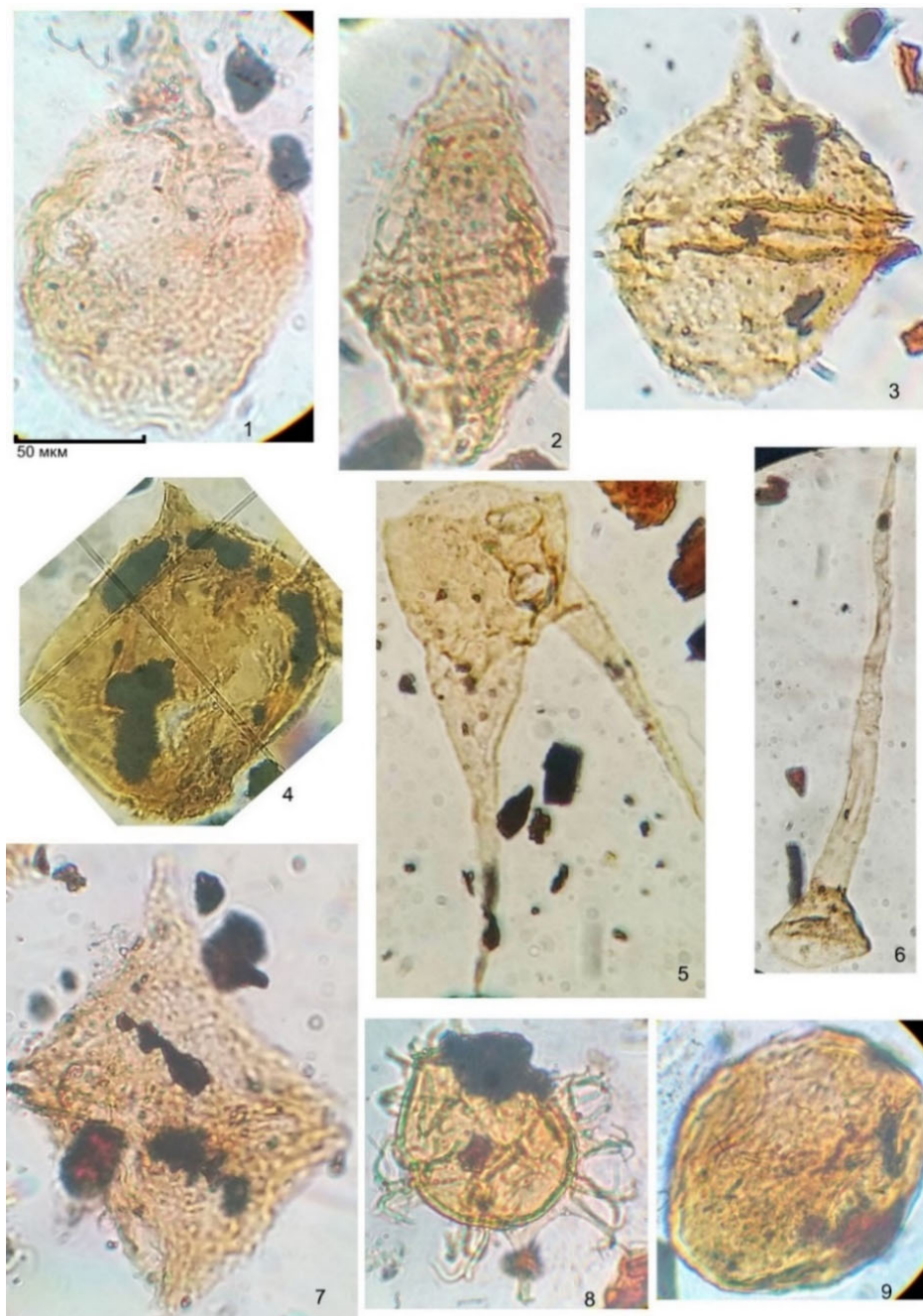


Рис. 5. Мікрофітопланктон барем-альбських відкладів св. № 29:

1. *Apteodinium* sp., зр. 13, альб; 2. *Isabelidinium* sp., зр. 15, сеноман; 3. *Cribroperidinium* sp., зр. 12, альб;
4. *Apteodinium maculatum* subsp. *grande* (Cookson and Hughes) Below, зр. 13, альб;
5. *Odontochitina operculata* (O. Wetzel) Deflandre and Cookson, антапікальна частина теки, зр. 4, апт;
6. *Odontochitina* sp., апікальна частина теки, зр. 4, апт; 7. *Cribroperidinium* sp., зр. 13, альб;
8. *Achomosphaera ramulifera* (Deflandre) Evitt., зр. 15, сеноман; 9. Рештки зелених водоростей *Tasmanites* sp., зр. 14, альб

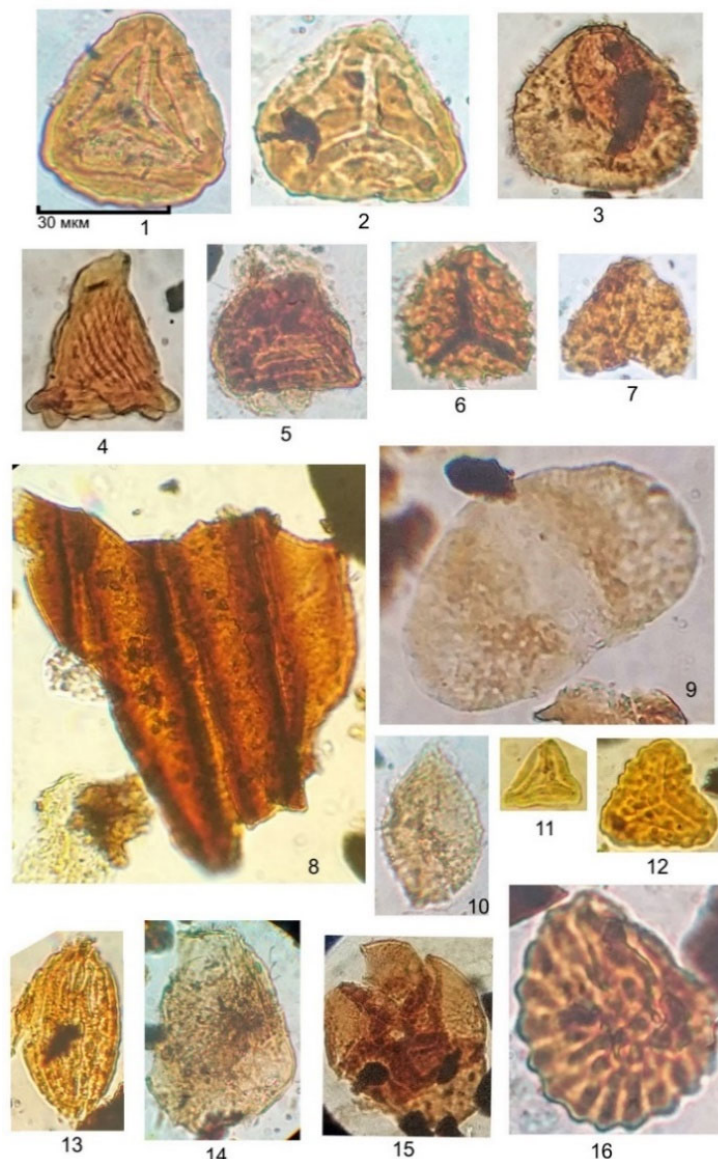


Рис. 6. Мікрофосилії барем-альбських відкладів св. № 29.

Спори: 1. *Murosporoides* sp., зр. 4, апт; 2. *Matonisporites* sp., зр. 1, альб; 3. *Pilosisporites* sp., зр. 3, барем;

4. *Appendicisporites* sp., зр. 3, барем; 5. *Cicatricosisporites* sp., зр. 2, барем;

6. *Retitriteles austroclavatidites* (Cookson) Doring et al., зр. 14, альб; 7. *Klukisporites variegatus* Couper, зр. 7, апт;

11. *Gleichenioidites senonicus* Ross., зр. 9, апт; 12. *Ornamentifera* sp., зр. 12, альб.

Пилок: 9. *Pinuspollenites* sp., зр. 13, альб; 10. *Liliacidites* sp., зр. 15, сеноман; 13. *Welwitschiapites* sp., зр. 10, апт. 8.

Рештки деревини, зр. 10, апт. **Акритархи:** 14. *Fromea* sp., зр. 13, альб.

Органічна складова мікрофораменіфер: 15. Устілка мікрофораменіфери, зр. 3, барем; 16. Устілка мікрофораменіфери, зр. 14, альб

Висновки. Уперше вивчено крейдові відклади Каркінітсько-Північнокримського прогину та проведено детальне біостратиграфічне розчленування цих відкладів на рівні регіональних стратонів за диноцистами та спорово-пилковим комплексом. За результатами дослідження можна зробити висновок щодо віку відкладів та умов осадконакопичення. У Каркінітсько-Північнокримському прогині крейдові відклади зі св. 29 представлені прибережно-морськими відкладами верхнього барему, континентальними чи прибережно-морськими відкладами апту, морськими та вулканогенними відкладами альбу та морськими відкладами сеноману. Палінологічно досліджено відклади св. № 29, представлені алевроитовими глинами та пісковиками, охарактеризовані мікрофосиліями, у результаті доповнена палеонтологічна характеристика Стратиграфічних схем регіону Рівнини Крим. За систематичним складом виявлених диноцист і за даними спорово-пилкового аналізу

встановлено вік вмісних відкладів як барем-апт-альб-сеноманський св. № 29 проміжку гл. 3142–2228 м. Розчленовано відклади, що раніше датувались як неокот. Уперше підтверджено присутність відкладів барему та апту на території Каркінітсько-Північнокримського прогину за диноцистами.

Виконано кореляцію з Міжнародною стратиграфічною шкалою для мезозою, побудованою на еволюції морської фауни – ортостратиграфічної групи амонітів та інших, у тому числі – диноцист (Gradstein et al., 2012; 2020).

Автори висловлюють свою подяку професорці А.С. Андреевій-Григорович за корисні поради та консультації.

Стаття висвітлює результати досліджень, які частково профінансовано за бюджетною програмою "Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень" (КПКВК 6541230).

Список використаних джерел

- Воронова, М.А. (1994). Палиностратиграфія нижнього мелу і розвитку раннемелових флор України. Київ : Наук. думка.
- Воронова, М.А., Карева, Л.Ф. (1989). Водоросли альба Волино-Подолі. Сб. "Палинологія пошуків іскопаємих". Минск.
- Воронова, М.А., Яновська, Г.Г. (1981). Остатки микрофитопланктона в юрских и меловых отложениях Украины. *Систематика, эволюция, экология водорослей и их значение в практике геологических исследований*. Киев : Наукова думка, 19–20.
- Вялов, О.С., Андреева-Григоревич, А.С., Гавура, С.П. и др. (1989а). Региональная схема стратиграфии меловых отложений Украинских Карпат. *Палеонтол. сб., Львов*, 26, 71–72.
- Вялов, О.С., Андреева-Григоревич, А.С., Гавура, С.П. и др. (1989б). Объяснительная записка к региональной стратиграфической схеме меловых отложений Украинских Карпат. Львов.
- Геология шельфа СССР. (1984). Том Стратиграфия (шельф и побережье Черного моря). Отв. ред. Ю.В. Тесленко. Киев: Наукова думка.
- Гожик, П.Ф., Маслун, Н.В., Плотнокова, Л.Ф., Іванік, М.М., Якушин, Л.М., Іщенко, І.І. (2006). Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря. Київ : Логос.
- Григоревич, А.С. (1979). Микрофитопланктон меловых и палеогеновых отложений северного склона Украинских Карпат. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, 2, 83–98.
- Гричук, В.П., Заклинская, Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. Москва : ОГИЗ.
- Доротяк, Ю.Б., Матвеев, А.В., Шевчук, Е.А. (2009). Характеристика пограничных отложений юры и мела в Горном Крыму (фораминиферы, известковый нанопланктон, диноцисты, палинокомплексы). *Зб. наук. праць Інституту геологічних наук НАН України. Випуск фауна і флора України: Палеогеологічний та стратиграфічний аспекти*, 108–117.
- Єсипович, С.М. (2002). Розвиток седиментаційних комплексів від середньої юри до нижньої крейди на північно-західному шельфі Чорного моря. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 3(4), 42–49.
- Жабіна, Н., Анікеєва, О., Колодій, І., Мінтузова, Л. (2015). Нові дані про стратиграфію відкладів та гідрогеохімічні умови Придніпровської площі (північно-західний шельф Чорного моря). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 70 (3), 15–22.
- Іщенко, І.І., Лещук, Р.Й., Якушин, Л.М. (2016). Стратиграфія крейдових відкладів Рівнинного Криму. Стаття 1. Нижня крейда. *Геол. журнал*, 2 (355), 73–89.
- Колодій, В.В. (1971). Про походження гідрохімічних аномалій на Октярському нафтовому та Західно-Октярському газоконденсатному родовищах Криму. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 27, 16–19.
- Мельничук, П.М. (2003). Особливості геологічної будови нижньокрейдних відкладів і перспективи їхнього освоєння в межах північно-західного шельфу Чорного моря. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, (8), 87–96.
- Огороднік, М. (2006). Зональна шкала біостратиграфічних підрозділів титону – сеноману Передкарпаття за палинологічними даними та перидінеєвими водоростями. *Палеонт. зб., Львів*, 38, 65–72.
- Огороднік, М. (2007). Стратиграфічне розчленування нижньої крейди розшукової свердловини Західнобірюча-1 шельфу Азовського моря за палинологічними даними. *Палеонт. зб., Львів*, 39, 27–36.
- Орлова-Турчина, Г.А. (1966). Спорно-пыльцевые комплексы готерива и баррема западной и центральной частей Равнинного Крыма. *Палеонтол. сб.*, 3, 1, 90–96.
- Сидоренко, А.В. (1969). Геология СССР. Крым. Геологическое описание. Т. VIII. Ч. I. Изд-во "Недра".
- Стратиграфічний кодекс України. (2012). Відп. ред. П.Ф. Гожик. 2-е вид. Київ.
- Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. (2013) : Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. Гол. ред. П.Ф. Гожик. ІГН НАН України. Київ: Логос.
- Шевчук, Е.А. (2006). Динофитовые водоросли из меловых отложений северо-западной Украины (Волинь). *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. Проблеми біостратиграфії нижнього протерозою і фанерозою України*, 118–123.
- Шевчук, О.А. (2005). Знахідки цист динофлагелат в крейдових відкладах Волино-Поділля. *Палеонт. зб., Львів*, 37, 84–88.
- Шевчук, О.А. (2011). Палиностратиграфія та кореляція різнофазціальних альбських відкладів України. *Палеонт. зб., Львів*, 43, 3–13.
- Шевчук, О.А. (2013). Палиностратиграфія крейдових відкладів української частини акваторії Азовського моря. *Тектоніка і стратиграфія*, 40, 118–124.
- Шевчук, О.А. (2018). Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. *Палеонт. зб., Львів*, 50, 60–72.
- Fensome, R.A., Taylor, F.J.R., Norris, G., Sarjeant, W.A.S., Wharton, D.I. and Williams, G.L. (1993). A classification of fossil and living dinoflagellates. *Micropaleontology. Spec. Publ.*, 7, 351.
- Gradstein, F.M., Ogg, J., Schnitz, M.D., Ogg, G.M. (2020). The Geological Time Scale. Vol. 1, Vol. 2. Elsevier BV.
- Gradstein, F.M., Ogg, J., Schnitz, M.D., Ogg, G.M. (2012). The Geological Time Scale. Vol. 2. Elsevier BV.
- Rehakova, D., Matyja, B., Wierzbowski, A., Schlogl, J., Krobicki, M., Barski, M. (2011). Stratigraphy and microfacies of the Jurassic and lowermost Cretaceous of the Veliky Kamenets section (Pieniny Klippen Belt, Carpathians, Western Ukraine). *Volumina Jurassica*, 9, 9, 61–104.
- Shevchuk, O.A. (2005). Finds of dinoflagellate cysts in Cretaceous sediments of Volyn-Podillya. *Paleontol. collection, Lviv*, 37, 84–88. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2011). Palynostratigraphy and correlation of different facies Albian deposits of Ukraine. *Paleontol. collection, Lviv*, 43, 3–13. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2013). Palynostratigraphy of Cretaceous deposits of the Ukrainian part of the Azov Sea. *Tectonics and stratigraphy*, 40, 118–124. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2018). Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. *Paleontol. collection, Lviv*, 50, 60–72.
- Shevchuk, O., Vajda, V. (2014). Taxonomic diversity of dinoflagellates in the Cretaceous seas traced in the Crimean Mountains. *Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції "Біорізномор'я і устійливе розвиток". Сімферополь*, 391–392.
- Shevchuk, O.A., Vajda, V. (2016). Stratigraphy and paleoecology of Middle Jurassic dinocyst assemblages from the Dnieper-Donets Basin of central Ukraine. Paper 5193, Symposium, T. 44. P. 1. *Palaeontology and Palaeo-anthropology, 35th International Geological Congress, Cape Town, South Africa*, 1, 55–57.
- Shevchuk, O.A. (2020). Dinocysts in Callovian Deposits of Central Ukraine. *International Journal on Algae*, 22(3), 279–286.
- Williams, G.L., Fensome, R.A., MacRae, R.A. (2017). The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates 2017 edition. *AASP Contributions Series Number 48*. American association of stratigraphic palynologists foundation.

References

- Dorotyak, Yu.B., Matveev, A.V., Shevchuk, E.A. (2009). Characteristics of the Jurassic and Cretaceous boundary deposits in the Crimean Mountains (foraminifera, calcareous nannoplankton, dinocysts, palynological complexes). *Collection of Scientific Works for the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Fossil fauna and flora of Ukraine: Paleogeological and stratigraphic aspects*, Kyiv, 108–117. [in Russian]
- Fensome, R.A., Taylor, F.J.R., Norris, G., Sarjeant, W.A.S., Wharton, D.I. and Williams, G.L. (1993). A classification of fossil and living dinoflagellates. *Micropaleontology. Spec. Publ.*, 7, 351.
- Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. (1984). Volume Stratigraphy (Shelf and Black Sea Coast). Resp. eds. Yu.V. Teslenko. Kyiv: Naukova Dumka. [in Russian]
- Gozhik, P.F., Maslun, N.V., Plotnikova, L.F., Ivanik, M.M., Yakushin, L.M., Ishchenko, I.I. (2006). Stratigraphy of the Mezo-Cenozoic deposits of the northwest shelf of the Black Sea. Kyiv: Logos. [in Ukrainian]
- Gradstein, F.M., Ogg, J., Schnitz, M.D., Ogg, G.M. (2012). The Geological Time Scale. Vol. 2. Elsevier BV.
- Gradstein, F.M., Ogg, J., Schnitz, M.D., Ogg, G.M. (2020). The Geological Time Scale. Vol. 1. Vol. 2. Elsevier BV.
- Grichuk, V.P., Zaklinskaya, E.D. (1948). Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography. Moscow: OGIZ. [in Russian]
- Grigorovich, A.S. (1979). Microphytoplankton of Cretaceous and Paleogene deposits of the northern slope of the Ukrainian Carpathians. *Bul. MOIP. Dept. geol.*, 2, 83–98. [in Russian]
- Ishchenko, I.I., Leschukh, R.I., Yakushin, L.M. (2016). Stratigraphy of Cretaceous sediments in the Plain Crimea. Paper 1. Lower Cretaceous. *Geological magazine*, 2 (355), 73–89.
- Kolodiy, V.V. (1971). On the origin of hydrochemical anomalies at the Otkyabrysky oil and West-Otkyabrysky gas condensate fields of Crimea. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 27, 16–19. [in Ukrainian]
- Melnychuk, P.M. (2003). Features of the geological structure of the Lower Cretaceous deposits and prospects for their development within the north-western shelf of the Black Sea. *Exploration and development of oil and gas fields*, (8), 87–96. [in Ukrainian]
- Ogorodnik, M. (2006). Zonal scale of biostratigraphic subdivisions of Tithonian–Cenomanian of Precarpathia according to palynological data and Peridinea algae. *Paleontol. collection, Lviv*, 38, 65–72. [in Ukrainian]
- Ogorodnik, M. (2007). Stratigraphic division of the lower Cretaceous of the West Biryuchacha – 1 exploration well of the Azov Sea shelf according to palynological data. *Paleontol. collection, Lviv*, 39, 27–36. [in Ukrainian]
- Orlova-Turchina, G.A. (1966). Spore-pollen complexes of Hauterivian and Barremian of the western and central parts of the Plain Crimea. *Paleontol. collection*, 3, 1, 90–96. [in Russian]
- Rehakova, D., Matyja, B., Wierzbowski, A., Schlogl, J., Krobicki, M., Barski, M. (2011). Stratigraphy and microfacies of the Jurassic and lowermost Cretaceous of the Veliky Kamenets section (Pieniny Klippen Belt, Carpathians, Western Ukraine). *Volumina Jurassica*, 9, 9, 61–104.
- Shevchuk, E.A. (2006). Dinophytic algae from Cretaceous sediments of northwestern Ukraine (Volyn). *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Problems of biostratigraphy of the lower Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine*, Kyiv, 118–123. [in Russian]
- Shevchuk, O., Vajda, V. (2014). Taxonomic diversity of dinoflagellates in the Cretaceous seas traced in the Crimean Mountains. *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Biodiversity and Sustainable Development". Simferopol*, 391–392.
- Shevchuk, O.A. (2005). Finds of dinoflagellate cysts in Cretaceous sediments of Volyn-Podillya. *Paleontol. collection, Lviv*, 37, 84–88. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2011). Palynostratigraphy and correlation of different facies Albian deposits of Ukraine. *Paleontol. collection, Lviv*, 43, 3–13. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2013). Palynostratigraphy of Cretaceous deposits of the Ukrainian part of the Azov Sea. *Tectonics and stratigraphy*, 40, 118–124. [in Ukrainian]
- Shevchuk, O.A. (2018). Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. *Paleontol. collection, Lviv*, 50, 60–72.

Shevchuk, O.A., Vajda, V. (2016). Stratigraphy and paleoecology of Middle Jurassic dinocyst assemblages from the Dnieper-Donets Basin of central Ukraine. Paper 5193, Symposium, T44.P1. *Palaeontology and Palaeo-anthropology, 35th International Geological Congress, Cape Town, South Africa*, 1, 55–57.

Shevchuk, O.A. (2020). Dinocysts in Callovian Deposits of Central Ukraine. *International Journal on Algae*, 22(3), 279–286.

Sidorenko, A.V. (1969). Geology of the USSR. Crimea. Geological description. Publishing house "Nedra". Vol. VIII, Part I. [in Russian]

Stratigraphic Code of Ukraine. (2012). Resp. Eds. P.F. Gozhik. 2nd edition. Kyiv. [in Ukrainian]

Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. (2013). In *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine*. Ch. Eds. P.F. Gozhik. IGN NAS of Ukraine. Kyiv: Logos. [in Ukrainian]

Voronova, M.A. (1994). Palinostratigraphy of the Lower Cretaceous and the development of early Cretaceous flora of Ukraine. Kyiv: Scientific thought. [in Russian]

Voronova, M.A., Kareva, L.F. (1989). Albian algae of Volyn-Podolia. *Sat. "Palynology of minerals"*. Minsk. [in Russian]

Voronova, M.A., Yanovskaya, G.G. (1981). Residues of microphytoplankton in Jurassic and Cretaceous sediments of Ukraine.

Systematics, evolution, ecology of algae and their significance in the practice of geological research. Science opinion. Kyiv, 19–20. [in Russian]

Vyalov, O.S., Andreeva-Grigorovich, A.S., Gavura, S.P. et al. (1989a). Regional scheme of the stratigraphy of the Cretaceous deposits of the Ukrainian Carpathians. *Paleontol. collection, Lviv*, 26, 71–72, 61. [in Russian]

Vyalov, O.S., Andreeva-Grigorovich, A.S., Gavura, S.P. et al. (1989b). Explanatory note to the regional stratigraphic scheme of the Cretaceous deposits of the Ukrainian Carpathians. *Lviv*. [in Russian]

Williams, G.L., Fensome, R.A., and MacRae, R.A. (2017). The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates 2017 edition. *AASP Contributions Series Number 48*. American association of stratigraphic palynologists foundation.

Yesipovich, S.M. (2002). Development of sedimentation complexes from the Middle Jurassic to the Lower Cretaceous on the northwestern shelf of the Black Sea. *Exploration and development of oil and gas fields*, 3 (4), 42–49. [in Ukrainian]

Zhabina, N., Anikeeva, O., Kolodiy, I., Mintuzova, L. (2015). New data on sediment stratigraphy and hydrogeochemical conditions of Pradniprovska Square (northwestern shelf of the Black Sea). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 70 (3), 15–22. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 21.04.21

O. Shevchuk, PhD (Geol.), leading Researcher,

E-mail: hshevchuk@ukr.net,

Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 55, b, O. Honchara Str., Kyiv, 01601, Ukraine;

D. Pustovoiitova, Student,

E-mail: jamm3782@gmail.com,

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

STRATIFICATION OF CRETACEOUS DEPOSITS OF THE SECTION № 29 – ZAKHIDNOOKTYABRSKA (KARKINITSKO-NORTH CRIMEAN TROUGH) BY PALYNOLOGICAL DATA

The Karkinitsko-North Crimean trough is a promising region of Ukraine for the search for hydrocarbons, and one of the main oil and gas complexes is the Cretaceous. Therefore, a detailed biostratigraphic subdivision of the Cretaceous sediments is important and necessary, which are the basis for further prospecting work and for the correlation of North Crimean trough with the similar age deposits of the adjacent regions. The Neocomian strata are especially problematic for subdivision and correlation. According to the results of the study of microphytofossils, the stratification of Cretaceous deposits of the Karkinitsko-North Crimean trough was carried out on the example of the supporting well № 29 – Zakhidnooktyabrsk. There are four spore-pollen complexes: Barremian, Aptian, Albian and Cenomanian. For the first time, the Cretaceous deposits were dissected according to the systematic composition of dinocysts, as well as the paleontological characteristics of sediments by other groups of microfossils – spores and pollen of higher plants, remnants of green algae, acritarchs and microforaminifers.

Keywords: biostratigraphy, dinocysts, spore-pollen complexes, Cretaceous deposits, Karkinitsko-North Crimean trough.

Е. Шевчук, канд. геол. наук, вед. науч. сотр.,

E-mail: hshevchuk@ukr.net,

Институт геологических наук НАН Украины,

ул. О. Гончара, 55, б, г. Киев, 01601, Украина;

Д. Пустовойтова, студ.,

E-mail: jamm3782@gmail.com,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии",

ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СТРАТИФИКАЦИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА СКВАЖИНЫ № 29 – ЗАПАДНООКТЯБРЬСКОЙ (КАРКИНИТСКО-СЕВЕРОКРЫМСКИЙ ПРОГИБ) ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Каркинитско-Северокрымский прогиб – перспективный регион Украины для поиска углеводородов, где один из главных нефтегазоносных комплексов – меловой. Поэтому важным и необходимым является детальное биостратиграфическое расчленение меловых отложений, которые служат основой для дальнейших поисковых работ и для корреляции исследованных меловых отложений Каркинитско-Северокрымского прогиба с разновозрастными отложениями смежных регионов. Особенно проблемной для расчленения и корреляции является плохо исследованная неокомская толща. По результатам изучения микрофитофоссилий проведено стратификацию меловых отложений Каркинитско-Северокрымского прогиба на примере опорной скважины № 29 – Западнооктябрьской. Выделены четыре спорово-пыльцевых комплекса: баремский, аптский, альбский и сеноманский. На исследуемой территории впервые проведено расчленение меловых пород по систематическому составу диноцист, а также дополнена палеонтологическая характеристика отложений по другим группам микрофоссилий – споры и пыльца высших растений, остатки зеленых водорослей, акритархи и микрофораминиферы.

Ключевые слова: биостратиграфия, диноцисты, спорово-пыльцевые комплексы, меловые отложения, Каркинитско-Северокрымский прогиб.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04>

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: s.vyzhva@knu.ua;

В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua;

І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: oivan1@ukr.net;

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: mvreva@gmail.com;

О. Шабатура, канд. геол. наук,

E-mail: dard@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНІ ПАРАМЕТРИ УЩІЛЬНЕНИХ ПОРІД
ПІВНІЧНОЇ ПРИБОРТОВОЇ ЗОНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)*

Присвячено результатам дослідження фільтраційно-ємнісних властивостей ущільнених порід (алевролітів, низькопористих пісковиків) північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Мета досліджень – вивчення петрофізичних параметрів ущільнених порід-колекторів як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей. Дослідженню підлягали такі фільтраційно-ємнісні характеристики зразків порід, як коефіцієнт відкритої та ефективно пористості, коефіцієнт проникності та коефіцієнт залишкового водонасичення. На основі капляриметричних досліджень виконана оцінка структури пустотного простору порід. Вивчається також зв'язок густини порід з їхньою пористістю. Дослідження пористості виконувалося в атмосферних і пластових умовах.

Проведений кореляційний аналіз дозволив отримати низку емпіричних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами досліджених порід – густиною, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом ефективно пористості та коефіцієнтом залишкового водонасичення. Ці залежності можуть бути використані у процесі інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин і моделюванні фільтраційно-ємнісних параметрів ущільнених порід-колекторів північної прибортової зони ДДЗ.

Ключові слова: пісковики, алевроліти, фільтраційно-ємнісні параметри, густина, пористість, проникність, залишкове водонасичення, кореляційні залежності.

Постановка проблеми. Результати виконаних останнім часом досліджень свідчать, що північна прибортова зона ДДЗ є одним із перспективних районів на наявність нетрадиційних покладів вуглеводнів (сланцевий газ, газ ущільнених порід, сланцева нафта), які можуть у разі перевищувати ресурси традиційного типу (Михайлов та ін., 2014).

Ущільнені породи є найбільш поширеним видом теригенних осадових порід. Вони становлять покривки над колекторами, що містять вуглеводні. У деяких районах ущільнені породи містять значну кількість органіки і можуть служити колекторами газу. На сучасному етапі у зв'язку з розширенням геологічних знань і розвитком новітніх технологій видобутку газу змінилося ставлення до цих відкладів. Установлено, що з багатих органікою ущільнених порід можна добувати газ у значних обсягах і з економічно прийнятною за нинішніх умов собівартістю.

Сьогодні в різних країнах, особливо в США й Канаді, проводяться інтенсивні роботи, спрямовані на створення ефективної технології виділення й оцінки газонасичених ущільнених порід і на підвищення продуктивності свердловин. Основу цієї технології становить буріння горизонтальних свердловин, орієнтованих у напрямку, перпендикулярному мінімальній горизонтальній напруженості порід, і проведення гідророзриву в продуктивному інтервалі геологічного розрізу. Важливою частиною технології є геофізичні та петрофізичні дослідження, а також математичне моделювання, на основі яких визначаються напрямки горизонтального стовбура свердловини гідророзриву та його параметри.

Досліджувані породи представлені низькопористими пісковиками й алевролітами. Характеристика петрофізичних властивостей цих порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів, що обумовлює актуальність їхнього петрофізичного вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України присвячена низка публікацій (Вижва та ін., 2018, 2019, 2020; Вижва та ін., 2017; Vyzhva et al., 2017; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014, 2018; Нестеренко, 2010; Орлюк та ін., 2018; Orlyuk et al., 2018; Садівник, 2013; Федоришин та ін., 2018) і багатьох інших авторів. Значна увага до вивчення петрофізичних характеристик геологічних утворень зумовлена тим, що петрофізичні параметри порід мають важливе значення для оцінки їхніх колекторських властивостей за даними свердловинних електрометричних та акустичних досліджень. Водночас петрофізичні параметри порід і кореляційні залежності між ними мають досить виражений індивідуальний характер стосовно кожної ділянки досліджень. Отже, лабораторне визначення цих властивостей та встановлення відповідних кореляційних зв'язків між ними для кожної перспективної площі потребують виконання як окремих досліджень, так і окремого публічного висвітлення їхніх результатів.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. На сучасному етапі проблема пошуків і вивчення нетрадиційних джерел вуглеводнів на території України залишається актуальною. Під час оцінки перспективності на газ геологічних структур і комплексів, крім геолого-геометричних та економічних параметрів, важливе значення мають петрофізичні властивості гірських порід. Їх необхідно враховувати при інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень пошуково-розвідувальних свердловин, а також у процесі оцінки параметрів гідророзриву пласта.

Незважаючи на велику кількість публікацій, для низки порід-колекторів практично відсутні дані результатів їхніх лабораторних фільтраційно-ємнісних, електрометричних, акустичних досліджень та їхніх

кореляційних залежностей з фільтраційно-ємнісними параметрами. Слід зазначити, що петрофізичні дослідження до недавнього часу були направлені переважно на вивчення порід-колекторів традиційних джерел вуглеводнів, і на даному етапі петрофізичні параметри ущільнених порід є маловивченими або зовсім невивченими.

Мета досліджень. Метою даних досліджень була оцінка петрофізичних параметрів ущільнених порід-колекторів нетрадиційних джерел вуглеводнів перспективних ділянок північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей.

Кореляційні зв'язки між ємнісно-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних і польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Основою для визначення цих зв'язків є комплекс лабораторних петрофізичних досліджень. Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень фільтраційно-ємнісних параметрів і густини порід, їхнього питомого електричного опору, швидкості поширення пружних хвиль у них і кореляційні зв'язки цих петрофізичних характеристик, використовуються для інтерпретації результатів електрометричних і акустичних методів досліджень свердловин, польової електророзвідки і сейсморозвідки.

Експериментальні петрофізичні дослідження. Виконаний в науково-дослідній лабораторії теоретичної і прикладної геофізики Навчально-наукового інституту "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка комплекс петрофізичних досліджень включав визначення: густини порід; відкритості та ефективної пористості; структури капілярного простору; питомого електричного опору; швидкості пружних хвиль в атмосферних і пластових умовах. Усі лабораторні дослідження виконувалися відповідно до діючих нормативних документів.

У даній статті наведено результати комплексних досліджень петрофізичних властивостей колекції із 71 зразка ущільнених порід (пісковиків і алевролітів) північного борту ДДЗ, відібраних на пошукових площах: Аксютівська (інтервал глибин 3905–4033 м); Гашинівська (інт. гл. 3398–3404 м); Дружелюбівська (інт. гл. 2852–2857 м); Євгенівська (інт. гл. 1109–1419 м); Наріжнська (інт. гл. 3359–4186 м); Островерхівська (інт. гл. 3780–4572 м).

Методика петрофізичних досліджень. Для визначення об'ємної густини досліджених порід у сухому стані виконувалося зважування та вимірювання геометричних розмірів спеціальних лабораторних зразків циліндричної форми, а в насиченому стані застосовувався метод гідростатичного зважування за стандартною методикою попередньо насичених зразків (Тиаб и Доналдсон, 2009;

Инструкция ..., 1977; Дортман, 1992 а, б). Для визначення ваги зразків використовувалися цифрові аналітичні ваги WPS 360/c/2 (точність $\pm 0,001$ г).

Коефіцієнт відкритої пористості визначався газоволюметричним способом і ваговим методом згідно із стандартною методикою. Зразки гірських порід насичувалися моделлю пластової води – розчином NaCl з мінералізацією 180 г/л і зважувалися цифровими аналітичними вагами WPS 360/c/2. Середня відносна похибка визначень коефіцієнта пористості становила 1,2 %.

Капілярметричні дослідження виконувалися шляхом центрифугування зразків порід за допомогою центрифуги ОС-6М (Породы..., 1985; Рудько, 2005; ДСТУ..., 2001). Обортова швидкість ротора центрифуги змінювалася від 1000 до 6000 об/хв із кроком 1000 об/хв, при цьому тиск витіснення змінювався від 0,03 до 1 МПа.

Для встановлення кореляційного зв'язку між ємнісними, електричними та акустичними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано комплекс петрофізичних досліджень з фізичним моделюванням пластових умов (температура $t = 94\text{--}126$ °C; ефективний тиск $p_{\text{еф}} = 41\text{--}55$ МПа; мінералізація пластової води $M = 180$ г/л).

Аналіз даних лабораторних досліджень. У результаті виконаних комплексних лабораторних досліджень визначено петрофізичні параметри ущільнених порід північного борту ДДЗ. Відомості про межі змін і середні значення петрофізичних параметрів порід, залежно від їхньої літології, наведено у відповідних таблицях.

Густина. Результати лабораторних визначень густини показали, що цей параметр у разі сухих порід змінюється: для алевролітів від 2232 кг/м³ (алевроліт зеленувато-сірий із сидеритом) до 2718 кг/м³ (алевроліт глинистий) за середнього значення 2573 кг/м³; для пісковиків – від 2425 кг/м³ (пісковик світло-сірий із жовтуватим відтінком середньозернистий кварцовий) до 2673 кг/м³ (пісковик сірий дрібнозернистий вапнистий) за середнього значення 2555 кг/м³. Густина порід, насичених моделлю пластової води, варіює в межах: для алевролітів – від 2430 кг/м³ до 2727 кг/м³ за середнього значення 2622 кг/м³; для пісковиків – від 2482 кг/м³ до 2688 кг/м³ за середнього значення 2599 кг/м³. Уявна мінералогічна густина алевролітів змінюється від 2645 до 2740 кг/м³ за середнього значення 2683 кг/м³, пісковиків – від 2629 кг/м³ до 2730 кг/м³ за середнього значення 2664 кг/м³. Широкі межі зміни густини свідчать про мінливість як літологічного складу досліджених порід, так і власне їхньої пористості (табл. 1).

Таблиця 1

Межі змін і середні значення густинних параметрів порід

Порода	Значення параметра	Густина (сухі), кг/м ³	Густина (насич. NaCl), кг/м ³	Уявна густина мінералогічна, кг/м ³
Алевроліти	мін.	2232	2430	2645
	макс.	2718	2727	2740
	сер.	2573	2622	2683
Пісковики	мін.	2425	2482	2629
	макс.	2673	2688	2730
	сер.	2555	2599	2664

Пористість. Пористість породи – важливий параметр, який визначає ємність колектора, тобто властивість породи вміщувати флюїди (нафту, газ і воду). Розрізняють загальну, відкрити та ефективну пористість (Тиаб и Доналдсон, 2009; Инструкция ..., 1977; Дортман, 1992 а, б). Пустотний простір породи

характеризується пористістю, а здатність породи пропускати через себе флюїди – проникністю. Ці властивості породи для кожного типу флюїду визначають його об'єм, швидкість руху і технологію видобутку. Іншими важливими властивостями порід-колекторів є їхня структура та вміст води (залежно від капілярного тиску), а також

звивистість порових каналів. Структура осадових порід значною мірою визначається формою і окатаністю зерен, їхніми розмірами, сортуванням, орієнтуванням і типом упаковки, а також хімічним складом. Вивчення цих параметрів дозволяє отримати інформацію про катагенетичні й діagenетичні процеси та про механізми, які діяли під час транспортування і відкладення осадового матеріалу, ущільнення і деформації осадків (Туаб и Дональдсон, 2009). За структурою породи можна візуально

на якісному рівні оцінити ступінь її пористості й проникності. Зміни проникності можна прогнозувати, виходячи із змін розміру і форми частинок, а також розподілу пустотних каналів у породі.

Досліджені ущільнені породи загалом характеризуються зниженими значеннями пористості. Відомості про межі змін і середні значення коефіцієнта пористості порід, залежно від їхнього виду, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Межі змін і середні значення ємнісних параметрів порід

Порода	Значення параметра	Коефіцієнт відкритої пористості, k_p		Коефіцієнт ефективної пористості, k_p
		насич. азотом	насич. NaCl	насич. NaCl
Алевроліти	мін.	0,013	0,008	0,0003
	макс.	0,076	0,074	0,0050
	сер.	0,040	0,034	0,0026
Пісковики	мін.	0,022	0,013	0,0013
	макс.	0,095	0,087	0,0293
	сер.	0,052	0,041	0,0048

Згідно з даними, наведеними в табл. 3, коефіцієнт відкритої пористості порід, насичений моделлю пластової води (розчином NaCl), змінюється: для алевролітів від 0,008 (алевроліт глинистий) до 0,074 (алевроліт зеленувато-сірий із сидеритом) за його середнього значення 0,034; для пісковиків – від 0,013 (піскови́к сірий дрібнозернистий вапнистий) до 0,087 (піскови́к середньозернистий світло-сірий кварцовий) за його середнього значення 0,041. Цей же параметр, визначений газоволюметричним способом (насиченням азотом), для алевролітів змінюється від 0,013 до 0,076 за його середнього значення 0,040; для пісковиків – від 0,022 до 0,095 за його середнього значення 0,052.

Аналіз отриманих даних дозволив установити кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості ущільнених порід, визначеними газоволюметричним способом і методом насичення рідиною (розчином NaCl). Отримані кореляційні залежності описуються лінійними рівняннями:

$$k_{p,NaCl} = 1,0303 \cdot k_{p,гв} - 0,0073,$$

при $R^2 = 0,963$ – алевроліти;

$$k_{p,NaCl} = 0,9311 \cdot k_{p,гв} - 0,0066,$$

при $R^2 = 0,941$ – пісковики,

де $k_{p,гв}$, $k_{p,NaCl}$ – коефіцієнти відкритої пористості, визначені відповідно газоволюметричним способом і насиченням моделлю пластової води (розчином NaCl). Графіки цих залежностей наведено на рис. 1, а, б.

У результаті аналізу отриманих даних установлено також кореляційні залежності між густиною досліджених алевролітів і пісковиків (σ) та їхнім коефіцієнтом пористості ($k_{p,NaCl}$). Ці кореляційні залежності, графіки яких наведено на рис. 2, а, б, описуються також лінійними функціями:

$$k_{p,NaCl} = -0,0002 \cdot \sigma + 0,6403,$$

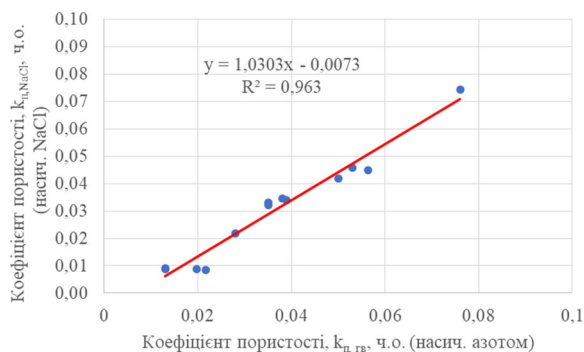
при $R^2 = 0,795$ – алевроліти;

$$k_{p,NaCl} = -0,0004 \cdot \sigma + 1,0681,$$

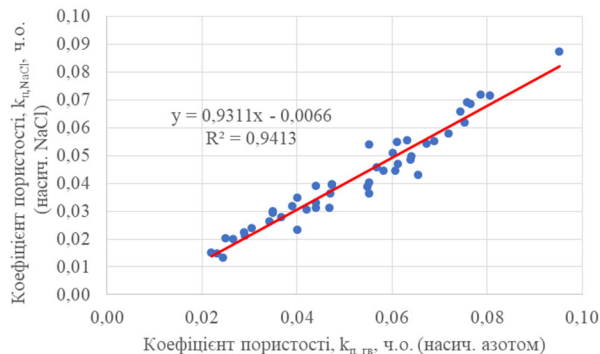
при $R^2 = 0,906$ – пісковики.

Капілярметричні дослідження виконано способом центрифугування зразків порід за допомогою центрифуги ОС-6М. Обертובה швидкість ротора центрифуги змінювалася від 1000 до 6000 об/хв із кроком 1000 об/хв, що забезпечувало зміну тиску витіснення у межах від 0,03 до 1 МПа (Рудько, 2005; Порода..., 1985). Коефіцієнти залишкового водонасичення ($k_{зв}$) та структура пустотного простору визначалися на основі аналізу кривих капілярного тиску (ККТ), отриманих за результатами центрифугування зразків порід. Дані про коефіцієнти залишкового водонасичення і структуру пустотного простору наведено в табл. 3.

На рис. 3, а, б наведено типові криві капілярного тиску досліджених ущільнених порід з різними фільтраційно-ємнісними властивостями.



а



б

Рис. 1. Залежність між коефіцієнтами відкритої пористості, визначеними газоволюметричним способом ($k_{p,гв}$) і методом насичення розчином NaCl ($k_{p,NaCl}$):

а – алевроліти; б – пісковики

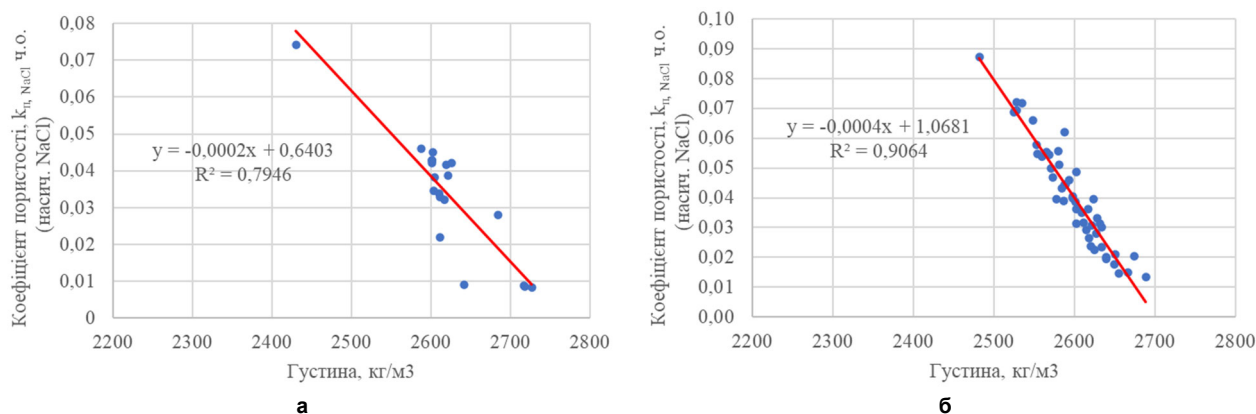


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відкритої пористості порід ($k_{n,NaCl}$), визначеного методом насичення розчином NaCl, від густини (σ): а – алевроліти; б – пісковики

Таблиця 3

Межі змін і середні значення параметрів пустотного простору досліджених порід

Порода	Значення параметра	Вміст пор, %			Коефіцієнт залишкового насичення насич. NaCl, $k_{зв}$
		надкапілярні	капілярні	субкапілярні	
Алевроліти	мін.	1	1	84	0,84
	макс.	6	11	97	0,97
	сер.	3	5	92	0,93
Пісковики	мін.	1	2	43	0,43
	макс.	18	40	96	0,96
	сер.	4	10	86	0,86

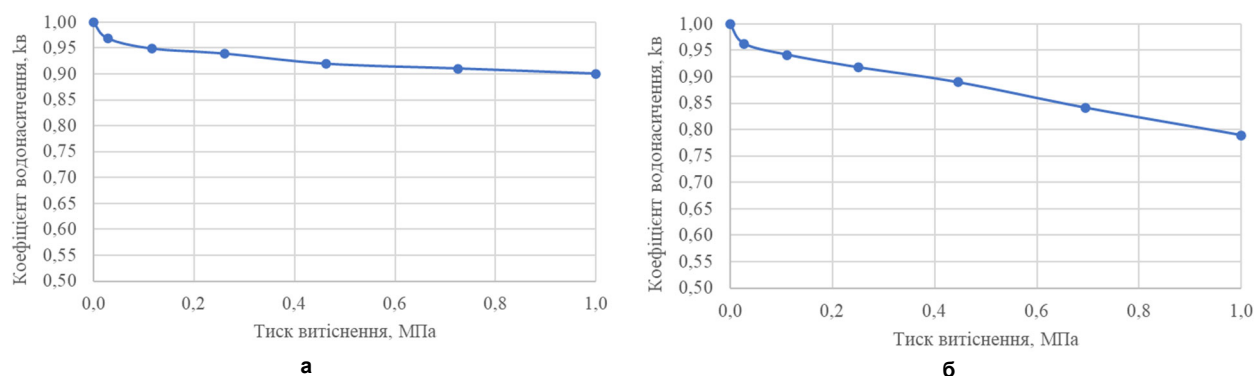


Рис. 3. Типова крива капілярного тиску для алевролітів (а) та ущільнених пісковиків (б)

Аналіз даних лабораторних визначень коефіцієнта залишкового водонасичення ущільнених порід показав, що цей параметр змінюється в межах: для алевролітів від 0,84 (алевроліт світло-сірий тонкосмугастиий) до 0,97 (алевроліт зеленувато-сірий із сидеритом) за його середнього значення 0,93; для пісковиків – від 0,43 (пісковик світло-сірий крупнозернистий з кременистим цементом) до 0,96 (пісковик середньозернистий світло-сірий кварцовий) за його середнього значення 0,86. За визначеними коефіцієнтами залишкового водонасичення та існуючою відповідною класифікацією колекторів за класами колекторських властивостей (Дакнов, 1975) практично всі досліджені зразки порід (за винятком трьох) належать до V класу (нафтогазонасичення дуже низьке, $k_{зв} > 0,7$).

З використанням коефіцієнтів залишкового водонасичення визначено коефіцієнти ефективної пористості ($k_{п,еф}$) досліджених порід (табл. 2). Коефіцієнт ефективної пористості, визначений за залишковим водонасиченням, змінюється в межах: для алевролітів від 0,0003 (алевроліт глинистий) до 0,0050 (алевроліт світло-сірий тонкосмугастиий) за його середнього значення 0,0026, а для пісковиків – від 0,0013 (пісковик

дрібнозернистий смугастий) до 0,0293 (пісковик світло-сірий крупнозернистий з кременистим цементом) за його середнього значення 0,0048.

Між коефіцієнтом залишкового водонасичення ($k_{зв}$) і коефіцієнтом ефективної пористості порід ($k_{п,еф}$) також отримано кореляційні залежності, які мають лінійний характер:

$$k_{п,еф} = -0,0333 \cdot k_{зв} + 0,0339, \text{ при } R^2 = 0,856 \text{ – алевроліти;}$$

$$k_{п,еф} = -0,0372 \cdot k_{зв} + 0,0371, \text{ при } R^2 = 0,738 \text{ – пісковики.}$$

Графіки цих залежностей наведено на рис. 4, а, б.

Капілярнометричні дослідження зразків порід, виконані з використанням центрифуги ОС-6М, дозволили оцінити структуру пустотного простору зразків ущільнених порід за розміром капілярів. Згідно із класифікацією пор за їхніми розмірами (Нестеренко, 2010) вони поділяються на субкапілярні (діаметр $< 0,2$ мкм), капілярні (діаметр $0,2\text{--}3$ мкм) і надкапілярні (діаметр $3\text{--}100$ мкм). Отриманий у результаті виконаних досліджень розподіл пустотного простору зразків порід, відповідно до зазначеної класифікації, наведений в табл. 3.

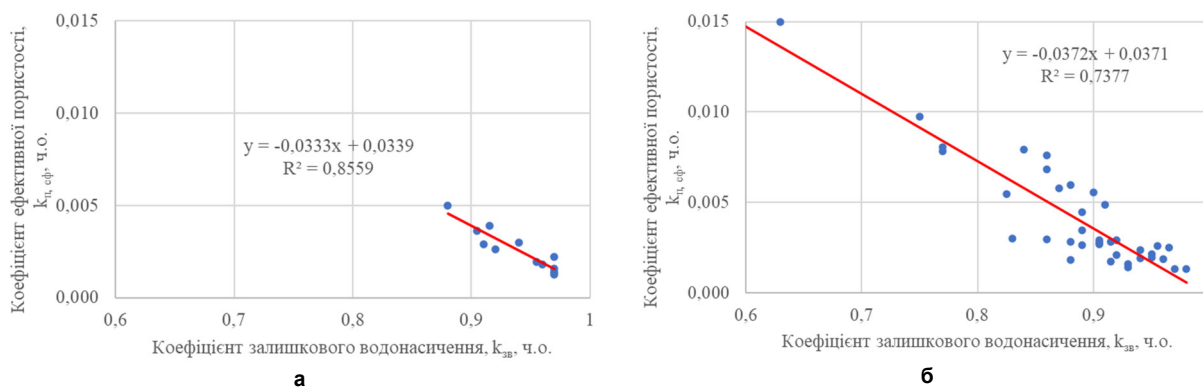


Рис. 4. Залежність коефіцієнта ефективної пористості порід ($K_{\text{еф}}$) від коефіцієнта залишкового водонасичення ($K_{\text{зб}}$): а – алевроліти; б – пісковики

У надкапілярних і капілярних порових каналах зосереджені флюїди, що можуть брати участь у фільтраційних процесах. Субкапілярні порові канали, як правило, заповнені залишковою водою й участі у фільтрації флюїдів не беруть. Згідно з даними, наведеними в табл. 3, в алевролітах вміст пор різних розмірів коливається в межах: надкапілярних пор від 1 до 6 % за середнього значення 3 %, капілярних – від 1 до 11 % за середнього значення 5 %, субкапілярних – від 84 до 97 % за середнього значення 92 %. Відповідно отримані межі зміни вмісту пор різних розмірів для пісковиків такі: надкапілярних – від 1 до 18 % за середнього значення 4 %, капілярних – від 2 до 40 % за середнього значення 10 %; субкапілярних – від 43 до 96 % за середнього значення 86 %.

Слід зазначити, що за структурою пустотного простору досліджені зразки порід у більшості випадків мають досить низькі фільтраційні властивості, за винятком окремих зразків із середніми фільтраційними параметрами. При цьому досліджені пісковики порівняно з алевролітами відрізняються підвищеним вмістом капілярних пор.

Фізичне моделювання пластових умов за допомогою установки високого тиску ВСЦ-1000 дозволило оцінити коефіцієнт пористості досліджених порід у пластових умовах. Залежно від умов залягання порід при фізичному моделюванні пластових умов ефективний тиск ($p_{\text{еф}}$) становив 41–55 МПа, а температура змінювалась у межах 94–126 °С. Аналіз результатів лабораторних досліджень пористості порід у змодельованих пластових умовах свідчить, що цей параметр для алевролітів змінюється від 0,007 до 0,06 за середнього значення 0,028, а для уціільнених пісковиків – від 0,011 до 0,081 за середнього значення 0,037. Виконані експериментальні дослідження дозволили також отримати кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості в атмосферних (K_n) і пластових ($K_{\text{пл}}$) умовах. Ці залежності досить стійкі й мають лінійний вигляд (рис. 5, а, б):

$$K_{\text{пл}} = 0,7782 \cdot K_n + 0,0018, \text{ при } R^2 = 0,914 - \text{алевроліти};$$

$$K_{\text{пл}} = 0,9451 \cdot K_n - 0,0017, \text{ при } R^2 = 0,965 - \text{пісковики}.$$

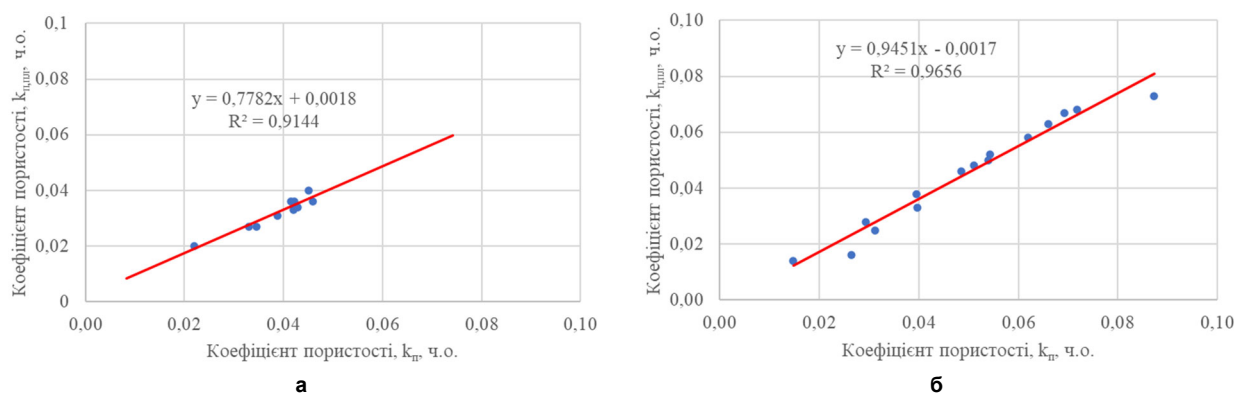


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтами пористості в атмосферних (K_n) і пластових ($K_{\text{пл}}$) умовах: а – алевроліти; б – пісковики

Закриття мікротріщин під навантаженням порід під час моделювання пластових умов спричиняє зменшення пористості порід порівняно з їхньою пористістю в атмосферних умовах. Аналіз даних показує, що для досліджених алевролітів відносне зниження (δ) коефіцієнта пористості в результаті зміни атмосферних умов на пластові ($\delta = |K_{\text{пл}} - K_n| / K_n \cdot 100\%$) становить від 14 до 19,5 % за середнього значення 17 %, а для пісковиків – від 7,5 до 18 % за середнього значення 10,5 %. На рис. 6 наведено графіки залежностей відносного зниження (δ) коефіцієнта пористості ($K_{\text{пл}}$) досліджених порід у пластових умовах від їхнього коефіцієнта

пористості (K_n) в атмосферних умовах. Ці залежності досить стійкі й описуються показниковими функціями:

$$\delta = 43,014 \cdot K_n^{0,2795}, \text{ при } R^2 = 0,918 - \text{алевроліти};$$

$$\delta = 2,147 \cdot K_n^{-0,477}, \text{ при } R^2 = 0,983 - \text{пісковики}.$$

Із даних співвідношень і наведених графіків виходить, що відносне зниження коефіцієнта пористості за однакових пластових умов для алевролітів перебуває в прямій, а для пісковиків – в оберненій залежності від коефіцієнта пористості в атмосферних умовах. Цей ефект імовірно пов'язаний з різною структурою пустотного простору досліджених алевролітів і пісковиків.

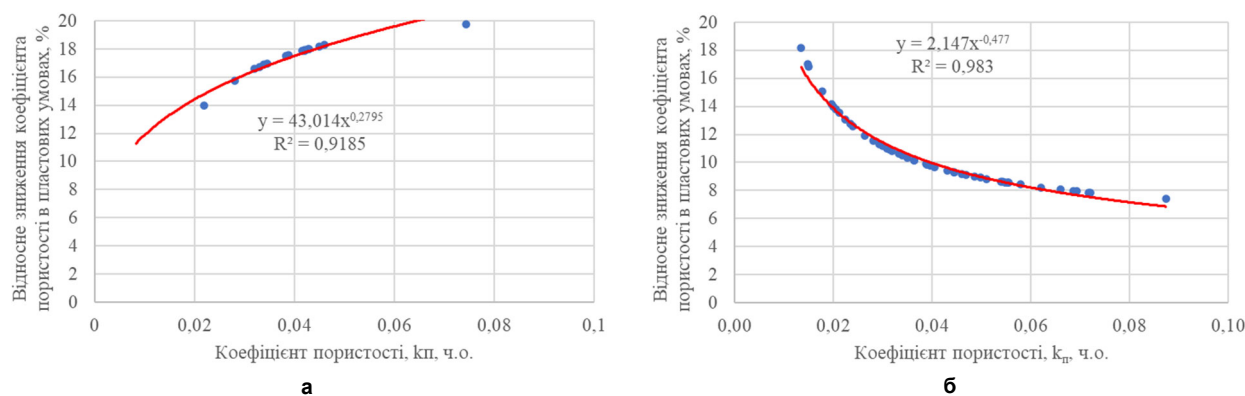


Рис. 6. Залежність відносного зниження (δ) коефіцієнта пористості у пластових умовах ($k_{п,пл.}$) від його коефіцієнта пористості (k_p) в атмосферних умовах: а – алевроліти; б – пісковики

Проникність. Одна з основних властивостей гірських порід, що характеризує їхню здатність пропускати флюїди, називається проникністю. Проникність порід залежить від їхньої ефективної пористості, отже, вона контролюється розміром зерен породи, їхньою формою та просторовим розподілом за розмірами (сортуванням), а також їхньою упаковкою, ступенем консолідації й цементації. Тип глинистого або іншого цементувального матеріалу між піщаними зернами також впливає на проникність, особливо в разі присутності води. Деякі глинисті мінерали, зокрема монтморилоніт і смектит, розбухають у воді й можуть частково або повністю закупорювати пустотний простір (Тиаб і Доналдсон, 2009; Породи..., 1985).

Параметр, який характеризує проникність породи у випадку, коли вона на 100 % насичена одним флюїдом (фазою), таким як газ ($k_{прг}$), нафта ($k_{прн}$) або вода ($k_{прв}$), називається абсолютною проникністю (коефіцієнтом проникності $k_{пр}$) для даного флюїду. У разі присутності в породі більше одного флюїду проникність для кожного з них є фазовою, при цьому коефіцієнти проникності $k_{прг}$, $k_{прн}$, $k_{прв}$ характеризують ефективну фазову проникність для газу, нафти й води відповідно. Під час руху по пустотних каналах пластові флюїди взаємодіють між собою, гальмуючи один одного, тому сума ефективної проникності всіх трьох фаз завжди менша абсолютної проникності.

Гірські породи характеризуються первинною і вторинною проникностями. Первинна проникність зумовлена проникністю матриці (мінерального скелета) породи. Вона утворюється під час відкладення й літфікації (консолідації) осадових порід. Вторинна

проникність є результатом зміни матриці породи за рахунок ущільнення, цементації, утворення тріщин і вилугування. Цементация і ущільнення порід зменшують їхню проникність, а процеси вилугування й утворення тріщин збільшують проникність. Слід зазначити, що в деяких породах, особливо в низькопористих, саме за рахунок вторинної проникності відбувається основна міграція флюїдів.

Зазвичай проникність порід-колекторів нафти і газу змінюється в діапазоні від 0,1 до 1000 фм², інколи й більше. Клас колектора обумовлюється його проникністю, яка поділяється на: низьку – $k_{пр} < 1$ фм², задовільну – $k_{пр} = 1-10$ фм², середню – $k_{пр} = 10-50$ фм², високу – $k_{пр} = 50-250$ фм² і дуже високу – $k_{пр} > 250$ фм² (Дахнов, 1975; Тиаб і Доналдсон, 2009). Породи, що мають проникність нижче 1 фм², вважаються ущільненими. Така низька проникність зазвичай властива щільним газонасиченим пісковикам, аргілітам, алевролітам, матриці вапняків. Промислова розробка газонасичених щільних порід можлива шляхом застосування технологій примусової інтенсифікації продуктивних товщ таких, як гідророзрив і кислотна обробка пласта, що суттєво підвищують проникність ущільнених порід і дозволяють вести видобуток вуглеводнів із порід-колекторів, які раніше вважалися некондиційними.

Коефіцієнт проникності зразків порід визначався методом стаціонарної фільтрації азоту (Породи..., 1985) за допомогою спеціально розробленої установки. Середня відносна похибка визначень коефіцієнта проникності становила 2,3 %. Межі змін і середні значення коефіцієнта проникності досліджених ущільнених порід наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Межі змін і середні значення проникності порід

Порода	Значення параметра	Коефіцієнт проникності $k_{пр}$, фм ²
Алевроліти	мін.	0,002
	макс.	1,981
	сер.	0,279
Пісковики	мін.	0,002
	макс.	1,492
	сер.	0,176

У результаті аналізу лабораторних визначень коефіцієнта проникності порід установлено, що для алевролітів цей параметр змінюється в межах від 0,002 фм² до 1,981 фм² за його середнього значення 0,279 фм², а для пісковиків – від 0,002 фм² до 1,492 фм² за його середнього значення 0,176 фм². Згідно з існуючою класифікацією порід за їхньою проникністю (Дахнов, 1975) досліджені породи, за винятком окремих

зразків, належать до V класу колекторів (проникність дуже низька, $k_{пр} < 1$ фм²).

Висновки. Характеристика петрофізичних властивостей низькопористих пісковиків і алевролітів є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів, що обумовлює актуальність їхнього петрофізичного вивчення. У результаті виконаних лабораторних досліджень

отримано такі фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених колекторів.

Об'ємна густина сухих порід змінюється в межах: для алевролітів – від 2232 до 2718 кг/м³ (середня 2573 кг/м³), для пісковиків – від 2425 до 2673 кг/м³ (середня 2555 кг/м³). Межі зміни густини порід, насичених моделлю пластової води, становлять: для алевролітів – від 2430 до 2727 кг/м³ (середня 2622 кг/м³), для пісковиків – від 2482 до 2688 кг/м³ (середня 2599 кг/м³). Уявна мінералогічна густина алевролітів змінюється від 2645 до 2740 кг/м³ (середня 2683 кг/м³), пісковиків – від 2629 до 2730 кг/м³ (середня 2664 кг/м³). Широка межа зміни густини свідчать про мінливість як літологічного складу досліджених порід, так і власне їхньої пористості.

Газоволюметричним способом встановлено, що коефіцієнт відкритої пористості досліджених порід змінюється в межах: для алевролітів – від 0,013 до 0,076 (середнє 0,040), для пісковиків – від 0,022 до 0,095 (середнє 0,052). Цей параметр визначений гідростатичним способом варіює в межах: для алевролітів – від 0,008 до 0,074 (середнє 0,034), для пісковиків – від 0,013 до 0,087 (середнє 0,041). Коефіцієнт ефективної пористості алевролітів змінюється від 0,0003 до 0,0050 (середнє 0,0026), а для пісковиків – від 0,0013 до 0,0293 (середнє 0,0048). Кореляційні залежності між густиною порід та їхніми коефіцієнтами пористості, встановлені за результатами лабораторних досліджень, є відносно стійкими й описуються лінійними функціями. Досліджені ущільнені породи загалом характеризуються низькими значеннями пористості.

Установлено, що коефіцієнт залишкового водонасичення алевролітів змінюється від 0,84 до 0,97 (середнє 0,93), а для пісковиків – від 0,43 до 0,96 (середнє 0,86). За цим параметром досліджені породи належать до V класу (нафтогазонасичення дуже низьке).

Капілярметричним методом центрифугування виконана оцінка структури капілярного простору досліджених порід, згідно з якою для алевролітів вміст надкапілярних пор коливається в межах від 1 до 6 % (середнє 3 %), капілярних пор – від 1 до 11 % (середнє 5 %), субкапілярних пор – від 84 до 97 % (середнє 92 %). Відповідно для пісковиків вміст надкапілярних пор змінюється від 1 до 18 % (середнє 4 %), капілярних пор – від 2 до 40 % (середнє 10 %), субкапілярних пор – від 43 до 96 % (середнє 86 %). Досліджені пісковики відрізняються підвищеним вмістом капілярних пор порівняно з алевролітами.

У змодельованих пластових умовах пористість порід змінюється в таких межах: для алевролітів – від 0,007 до 0,06 (середнє 0,028), для ущільнених пісковиків – від 0,011 до 0,081 (середнє 0,037). Установлені кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості, виміряними в атмосферних і пластових умовах, мають високий коефіцієнт кореляції й описуються лінійною функцією. У пластових умовах унаслідок закриття мікротріщин під навантаженням порід їхня пористість зменшується відносно пористості в атмосферних умовах. Відносне зниження коефіцієнта пористості порід, що перебувають у пластових умовах, становить: для алевролітів – від 14 до 19,5 % (середнє 17 %), для пісковиків – від 7,5 до 18 % (середнє 10,5 %). Відносне зниження коефіцієнта пористості в пластових умовах для алевролітів має пряму, а для пісковиків обернену залежність від коефіцієнта пористості в атмосферних умовах. Це імовірно викликано різною структурою пористого простору досліджених алевролітів і низькопористих пісковиків.

Лабораторні вимірювання коефіцієнта проникності порід засвідчили, що для аргілітів цей параметр

змінюється в межах від 0,002 до 1,981 фм² (середнє 0,279 фм²), а для пісковиків – від 0,002 до 1,492 фм² (середнє 0,176 фм²). За значеннями коефіцієнта проникності досліджені породи здебільшого належать до V класу колекторів (проникність дуже низька, $k_{пр} < 1$ фм²).

Слід зазначити, що загалом досліджені алевроліти й ущільнені пісковики мають переважно низькі й дуже низькі фільтраційно-ємнісні властивості, за винятком окремих зразків. Тому розробка таких колекторів неможлива без застосування методів примусової інтенсифікації продуктивності пластів.

Проведений кореляційний аналіз дозволив отримати низку емпіричних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами досліджених порід, а саме – густиною, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом ефективної пористості та коефіцієнтом залишкового водонасичення. Отримані залежності можуть бути використані при інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин і моделюванні фільтраційно-ємнісних параметрів ущільнених порід-колекторів північної прибережної зони і північного борту ДДЗ.

Робота виконана в межах держбюджетної теми № 21БП049-01.

Автори висловлюють щире подяку ст. лаборанту В.С. Цуману за його активну й високопрофесійну участь у підготовці зразків і лабораторних дослідженнях.

Список використаних джерел

- Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2018). Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4 (83), 30–37.
- Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2019). Електричні параметри порід верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2 (85), 37–45.
- Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В., Олійник, О.В. (2020). Фільтраційно-ємнісні параметри нижньопермських карбонатних порід західної частини Глинсько-Солохівського нафтогазового району Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (88), 25–33. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04>.
- Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2020). Електричні та акустичні параметри нижньопермських карбонатних порід західної частини Глинсько-Солохівського газонафтоносного району ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2 (89), 49–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07>.
- Вижва, С.А., Орлюк, М.І., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Друкаренко, В.В., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2019). Петрофізичні параметри порід візейського ярусу Лохвицької зони Дніпровсько-Донецької западини. *Геофизический журнал*, 41, 4, 145–160.
- Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, І.І. (2017). Петрофизические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 79, 12–20.
- Дахнов, В.Н. (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. М : Недра.
- Дортман, Н.Б. (1992 а). Петрофизика. Справочник. Ч. 1. Недра.
- Дортман, Н.Б. (1992 б). Петрофизика. Справочник. Ч. 2. Недра.
- ДСТУ 41-00032626-00-025-2000. (2001). Коефіцієнт залишкового водонасичення гірських порід. Методика виконання вимірювань методом центрифугування зразків. Київ : Мінекоресурсів України.
- Маслов, Б.П., Онищук, І.І., Шинкаренко, А.В. (2017). Моделювання нелінійних в'язко-пружних властивостей теригенно-вапняковистих пісковиків. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 77, 99–105.
- Михайлов, В.А., Вижва, С.А., Загнітко, В.М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Кн. IV. Київ : ВПЦ "Київський університет".
- Михайлов, В.А., Карпенко, О.М., Курило, М.М. та ін. (2018). Горючі корисні копалини України та їхня геолого-економічна оцінка. Київ : ВПЦ "Київський університет".
- Нестеренко, М.Ю. (2010). Петрофізичні основи обґрунтування флюїдо-донасичення порід-колекторів. Київ : УкрДГРІ.
- Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2018). Прогноз шляхів проходження та місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегмента Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними. *Геофизический журнал*, 40, 2, 123–140. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893>.

Садівник, М.І., Федоришин, Д.Д., Трубенко, С.Д., Федоришин, С.Д. (2013). Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід. *XII Міжнародна конференція "Геоінформатика: Теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна.

Тіаб Д., Дональдсон Э.С. (2009). Петрофизика: Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. "Премиум Инжиниринг".

Федоришин, Д.Д., Пятковська, І.О., Трубенко, О.М., Федоришин, С.Д., Трубенко, А.О. (2018). Удосконалення методик виділення порід-колекторів складнопобудованих геологічних розрізів з використанням математичної статистики. *XVII Міжнародна конференція "Геоінформатика: Теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна.

Orlyuk, M., Drukarenko V., Onyshchuk I. (2018). Physical properties of deep reservoirs of the Glinsko-Solokhivsky oil and gas region. *XII Міжнародна наукова конференція "Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища"*, 13–16 листопада 2018 р., Київ, Україна.

Orlyuk, M., Drukarenko, V., Onyshchuk, I., Solodkyi E. (2018). The association of physical properties of deep reservoirs with the geomagnetic field and fault-block tectonics in the Hlynko-solokhivskyi oil-and-gas region. *Геодинаміка*, 2 (25), 71–88.

Vyzhva, S.A., Onyshchuk, V.I. & Onyshchuk, D.I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz. Rok LXXIII*, 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03.

Reference

Dakhnov, V.N. (1975). Geophysical methods for the determination of reservoir properties and oil and gas saturation of rocks. Moscow: Nedra. [in Russian]

Dortman, N.B. (Ed.). (1992 a). Petrophysics. Vol. 1. Moscow: Nedra. [in Russian]

Dortman, N.B. (Ed.). (1992 b). Petrophysics. Vol. 2. Moscow: Nedra. [in Russian]

Fedoryshyn, D.D., Piatkovska, I.O., Trubenko, O.N., Fedoryshyn, S.D. (2018). Improved methods of allocation reservoir rock from complex constructed geological sections by using mathematical statistics. *17th International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects*, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian]

GSTU 41-00032626-00-025-2000. (2001). Coefficient of residual water saturation of rocks. Method of measuring measurements by centrifugation of samples. K.: Ministry of Natural Resources of Ukraine. [in Ukrainian]

Maslov, B., Onyshchuk, I., Shynkarenko, A. (2017). Modelling of nonlinear viscoelastic properties of terrigenous-calcareous sandstones. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77, 99–105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13> [in Ukrainian]

Mykhailov, V.A., Karpenko, O.M., Kurylo, M.M. et al. (2018). Fossil fuels of Ukraine and their geological and economic evaluation. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]

Mykhailov, V.A., Vyzhva, S.A., Zagnitko, V.M. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Eastern oil-gas-bearing region: Analytical investigations. Book IV. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]

Nesterenko, M.Yu. (2010). Petrophysical basis of the substantiating of fluid saturation of reservoir rocks. Kyiv: UkrDHR. [in Ukrainian]

Orlyuk, M., Drukarenko, V., Onyshchuk, I. (2018). Physical properties of deep reservoirs of the Glinsko-Solokhivsky oil and gas region. *XII International Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, November 13–16, Kyiv, Ukraine. DOI: 10.3997/2214-4609.201803178.

Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2018). Prediction of pathways and places of accumulation for hydrocarbons of the Chernigiv segment of the Dnieper-Donets aulacogene in relation to magnetic heterogeneity. *Geofizicheskii zhurnal*, 40, 2, 123–140. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893>. [in Ukrainian]

Orlyuk, M., Drukarenko, V., Onyshchuk, I., Solodkyi, E. (2018). The association of physical properties of deep reservoirs with the geomagnetic field and fault-block tectonics in the Hlynko-solokhivskyi oil-and-gas region. *Geodynamics*, 2 (25), 71–88.

Sadivnik, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., Fedoryshyn, S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks. *12th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian]

Tiab, D., Donaldson, E.C. (2009). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport*. Moscow: Premium Engineering. (Original work published 2004). [in Russian]

Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, I. (2017). Petrophysical features of maikop series of the Crimean-Black Sea region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79, 12–20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02> [in Russian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Oliynyk, O., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Lower Permian carbonate deposits reservoir parameters of western part of Hlynko-Solokhivskyi area of Dnieper-Donets depression gas-oil-bearing district. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (88), 25–33. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.04>. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Orlyuk, M., Drukarenko, V., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Petrophysical parameters of rocks of the Visean stage (Lokhvytsky zone of the Dnieper-Donets Depression). *Geofizicheskii zhurnal*, 41, 4, 145–160. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177380>. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Electrical parameters of the upper carbon rocks (Runovshchynska area of the Dnieper-Donetsk basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (85), 37–45. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Electrical and acoustic parameters of lower Permian carbonate rocks (western part of the Hlynko-Solokhivskyi oil-and-gas-bearing district of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 49–58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.07>. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Reva, M., Shabatura, O. (2018). Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (83), 30–37. [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Onyshchuk, V.I., Onyshchuk, D.I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrska area in Volyno-Podillia (Ukraine). *Nafta-Gaz. Rok LXXIII*, 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03.

Надійшла до редколегії 25.03.21

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,

E-mail: vyzhva_s@ukr.net;

V. Onyshchuk, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,

E-mail: vitus16@ukr.net;

I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Researcher,

E-mail: oivan1@ukr.net;

M. Reva, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,

E-mail: mvreva@gmail.com;

O. Shabatura, PhD (Geol.),

E-mail: dard@ukr.net;

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

POROSITY AND PERMEABILITY PROPERTIES OF CONSOLIDATED ROCKS OF THE NORTHERN NEAR EDGE ZONE OF THE DNIEPER-DONETSK DEPRESSION

Paper concerned the researches of porosity and permeability properties of consolidated rocks (siltstones, poor-porous sandstones) of the northern near edge zone of the Dnieper-Donetsk depression. The purpose of the research was to study the petrophysical parameters of the consolidated reservoir rocks, as the basis of the integrated analysis of their physical properties. Such reservoir parameters as the open porosity factor and void factor, permeability coefficient and residual water saturation factor were studied. Void structure of rocks with capillarimetric method was studied. The relationship of the density of rocks with their porosity was also studied. The porosity study was carried out in atmospheric and reservoir conditions.

The bulk density of dry rock samples varies: for siltstones from 2232 kg/m³ to 2718 kg/m³ (mean 2573 kg/m³), for sandstones from 2425 kg/m³ to 2673 kg/m³ (mean 2555 kg/m³); water saturated rocks – for siltstones from 2430 to 2727 kg/m³ (mean 2622 kg/m³), for sandstones from 2482 kg/m³ to 2688 kg/m³ (mean 2599 kg/m³). An apparent specific matrix density varies: for siltstones from 2645 to 2740 kg/m³ (mean 2683 kg/m³), for sandstones from 2629 kg/m³ to 2730 kg/m³ (mean 2664 kg/m³).

The open porosity coefficient of studied rocks, in a case they were saturated with the synthetic brine, varies: for siltstones from 0,008 to 0,074 (mean 0,034), for sandstones from 0,013 to 0,087 (mean 0,041), if samples were saturated with nitrogen (N₂) then it varies: for siltstones from 0,013 to 0,076 (mean 0,040), for sandstones from 0,022 to 0,095 (mean 0,052). The effective porosity factor has following values: for siltstones 0,0003–0,0050 (mean 0,00026), for sandstones 0,0013–0,0293 (mean 0,0048). Analysis of reservoir conditions modeling revealed that porosity coefficient varies: for siltstones from 0,007 to 0,060 (mean 0,028), for consolidated sandstones from 0,011 to 0,081 (mean 0,037). Due to the closure of microcracks under

rock loading reduced to reservoir conditions the porosity decreases in comparison with atmospheric conditions, which causes a relative decrease in the porosity coefficient for siltstones from 14 to 19,5 % (mean 17,0 %), for sandstones from 7,5 to 18,0 % (mean 10,5 %).

Capillaryometric studies by centrifuging determined that the void space of the studied rocks has the following structure: for siltstones, the content of hypercapillary pores varies from 1 to 6 % (mean 3 %); the content of capillary pores – from 1 to 11 % (mean 5 %), the content of subcapillary pores – from 84 to 97 % (mean 92 %); for sandstones, the content of hypercapillary pores varies from 1 to 18 % (mean 4%); content of capillary pores – from 2 to 40 % (mean 10 %), the content of subcapillary pores – from 43 to 96 % (mean 86 %).

According to the results of laboratory measurements of the permeability coefficient, this parameter varies: for siltstones from 0,002 fm² to 1,981 fm² (mean 0,279 fm²), for sandstones from 0,002 fm² to 1,492 fm² (mean 0,176 fm²).

The correlation analysis has allowed to establish a series of empirical relationships between the reservoir parameters (density, porosity coefficient, permeability coefficient, effective porosity factor and residual water saturation factor). These relationships can be used in the data interpretation of geophysical studies of wells and in the modeling of the porosity and permeability properties of consolidated rocks of the northern near edge zone of the Dnieper-Donetsk depression.

Keywords: porosity and permeability properties, density, residual water saturation, correlation relationships, siltstones, sandstones, effective porosity factor.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: vsa@univ.net.ua;

В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: vitus16@ukr.net;

И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: oiyan1@ukr.net;

Н. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: mrvreva@gmail.com;

А. Шабатура, канд. геол. наук,

E-mail: dard@ukr.net;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УПЛОТНЕННЫХ ПОРОД СЕВЕРНОЙ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Посвящено результатам исследования фильтрационно-емкостных свойств уплотненных пород (алевролитов, низкопористых песчаников) северной прибортовой зоны Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Цель исследований заключалась в изучении петрофизических параметров уплотненных пород-коллекторов, как основы комплексного анализа их физических свойств. Исследованию подлежали такие фильтрационно-емкостные характеристики образцов пород, как коэффициенты открытой и эффективной пористости, коэффициент проницаемости и коэффициент остаточного водонасыщения. На основе капиллярметрических исследований выполнена оценка структуры пустотного пространства пород. Изучалась также связь плотности пород с их пористостью. Исследование пористости выполнялось в атмосферных и пластовых условиях.

Проведенный корреляционный анализ позволил получить ряд эмпирических зависимостей между фильтрационно-емкостными параметрами исследованных пород – плотностью, коэффициентом пористости, коэффициентом эффективной пористости и коэффициентом остаточного водонасыщения. Эти зависимости могут быть использованы при интерпретации данных геофизических исследований скважин и моделировании фильтрационно-емкостных параметров уплотненных пород-коллекторов северной прибортовой зоны ДДВ.

Ключевые слова: песчаники, алевролиты, фильтрационно-емкостные параметры, плотность, пористость, проницаемость, остаточное водонасыщение, корреляционные зависимости.

УДК 550.34.01

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.05>Д. Малицький¹, д-р фіз.-мат. наук, проф.,E-mail: dmalytskyu@gmail.com,В. Нікулін^{1,2}, д-р геол. наук,E-mail: valerijs.nikulins@lvgtmc.lv,¹Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна;²Латвійський центр навколишнього середовища, геології та метеорології,
м. Рига, LV-1091, Латвія

МЕХАНІЗМ ВОГНИЩА ЛИТОВСЬКОГО ЗЕМЛЕТРУСУ НА ОСНОВІ ІНВЕРСІЇ ХВИЛЬОВИХ ФОРМ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вишвою)

Мета: Визначення механізму вогнища Литовського землетрусу (12.06.15, $M_L = 2,6$) методом інверсії хвильових форм із використанням прямих хвиль і за даними обмеженої кількості станцій.

Методика: Матричний метод використано для моделювання поширення сейсмічних хвиль у неоднорідному середовищі, який подано у вигляді горизонтально-шаруватої пружної структури. Отримані співвідношення для полів переміщень на вільній поверхні шаруватого півпростору використано для визначення тензора сейсмічного моменту шляхом виділення тільки прямих Р- та S-хвиль. На основі розробленої методики для точкового джерела подається визначення сейсмічного тензора і, відповідно, механізму вогнища землетрусу. Таким чином, цей метод на основі розв'язання прямої задачі використано для інверсії спостережуваних сигналів для компонент тензора сейсмічного моменту.

Результати: Подано розв'язання оберненої задачі щодо визначення механізму вогнища Литовського землетрусу (12.06.15, $M_L = 2,6$) методом інверсії хвильових форм у випадку обмеженої кількості станцій. Фокальний механізм визначено за даними двох станцій – PABE, SLIT і за даними трьох станцій – PABE, MTSE, SLIT, які належать до Балтійської віртуальної сейсмологічної мережі BAVSEN (Baltic Virtual Seismic Network).

Наукова новизна та практична значимість: Запропоновано використання методу інверсії хвильових форм для визначення механізмів вогнищ для подій, які відбуваються в регіонах з малою сейсмічністю, яким є Східно-Балтійський регіон. Запропоновано методику для визначення механізмів вогнищ за даними обмеженої кількості сейсмічних станцій. Визначений у роботі механізм вогнища Литовського землетрусу 12.06.15 може бути використаний для вивчення, дослідження та ідентифікації відносно слабких сейсмічних подій на основі даних малої кількості станцій.

Ключові слова: матричний метод, метод інверсії хвильових форм, механізм вогнища землетрусу, тензор сейсмічного моменту, прямі Р- та S-хвилі.

Вступ. Визначення фокальних механізмів землетрусів є однією з найактуальніших проблем для місцевих сейсмологічних досліджень. За умов низької сейсмічної активності та недостатньої кількості місцевих сейсмічних станцій виникає необхідність розробляти нові альтернативні методи для розв'язання оберненої задачі щодо вогнища землетрусу та вдосконалювати існуючі. Найчастіше використовується підхід, в якому нодальні площини зображуються на нижній півкулі стереографічної сітки відповідно до полярності перших вступів Р-хвиль на станціях та їхнього розміщення в проєкціях залежно від азимута станції й кута виходу променя Р-хвилі та його полярності. Проте досить часто не вистачає наведеної вище інформації для визначення механізму вогнища. Тому слід використовувати інші методи для визначення параметрів джерела, що показано в даній роботі.

Основою кількісної характеристики вогнища землетрусу є тензор сейсмічного моменту, який визначають за допомогою різних методів: з використанням амплітуд сейсмічних хвиль (Vavrychuk and Kuhn, 2012; Godano et al., 2011), співвідношення амплітуд S/P (Miller et al., 1998; Hardebeck and Shearer, 2003) і повних хвильових форм (Dziewonski et al., 1981; Sipkin, 1986; Kikuchi and Kanamori, 1991; Sileny et al., 1992; Malytskyu, 2010). Теорія поширення сейсмічних хвиль у шаруватому півпросторі, тобто в середовищі, пружні властивості якого залежать тільки від глибини, є основним предметом дослідження багатьох учених-сейсмологів. Використання горизонтально-шаруватої моделі Землі знаходить застосування в дослідженнях джерел землетрусів і структурних властивостей середовища. Найбільш важливі підходи для дослідження поширення сейсмічних хвиль, розв'язання прямих та обернених задач можна знайти в книгах і монографіях: рефлексивний метод (Aki and Richards, 1980; Ben-Menahem and

Singh, 1981; Kennet, 1972, 2002; Fuchs and Muller, 1971); узагальнений променевий метод (Wiggins and Helmberger, 1974); повна хвильова теорія (Cormier and Richards, 1977); WKBJ теорія (Chapman, 1987); матричний метод (Alekseev and Mikhailenko, 1980; Bouchon, 1981; Molotov, 1984, 2001; Малицький, 2010, 2016).

Авторами роботи використано матричний метод для моделювання поширення сейсмічних хвиль у шаруватому середовищі. Теоретичні результати для поля переміщень на вільній поверхні шаруватого півпростору використано для обчислення тензора сейсмічного моменту та для визначення фокального механізму.

Методи і матеріали. Східно-Балтійський регіон (СБР), до якого відносять Естонію, Латвію, Литву, Калінінградську область Росії, а також прилягаючу акваторію Балтійського моря ($\varphi = 53,9 - 59,7^\circ\text{N}$; $\lambda = 19,4 - 29,6^\circ\text{E}$), належить до територій з дуже малою сейсмічністю (Нікулін, 2020). Поштовхом для розвитку сейсмологічного моніторингу для даного регіону стали два Калінінградські землетруси 21 вересня 2004 р., які відбулися в часовому відрізку близько двох годин один від одного з $M_w = 5,0$ і $5,2$ (Gregersen et al., 2007). У результаті, на базі існуючих станцій, у 2008 р. було створено Балтійську віртуальну сейсмологічну мережу BAVSEN (Baltic Virtual Seismic Network) (рис. 1). BAVSEN є частиною міжнародної сейсмологічної мережі GEOFON з центром у GFZPotsdam, а також включає деякі станції національних сейсмічних мереж Фінляндії, Естонії, Данії та Польщі.

Таким чином, для локалізації регіональних сейсмічних подій СБР головним чином використовуються сейсмічні станції Фінляндії (MEF, RAF), Естонії (VSU, MTSE, ARBE), Латвії (SLIT), Литви (PABE, PBUR), Польщі (SUW) і Данії (BSD). Основним об'єктом досліджень для сейсмологів, крім тектонічних землетрусів, є техногенна сейсмічність, яка переважає в СБР.

У результаті сейсмічного моніторингу СБР за період із 2008 по 2019 р. локалізовано вісім тектонічних землетрусів, в основному на території Естонії, і більш як 5640 техногенних сейсмічних подій. Загальна кількість сейсмічних подій, які локалізовано мережею BAVSEN, досягає 13328, включаючи 1146 телесеісмічних подій (Нікулін, 2020). Актуальність сейсмологічного моніторингу в регіоні зростає у зв'язку з несприятливими геодинамічними умовами в районі розміщення деяких великих енергетичних, транспортних об'єктів і агломерацій, що потребує вивчення сейсмічного режиму території навколо цих об'єктів. Основні проблеми

сейсмічного моніторингу СБР пов'язані з ідентифікацією відносно слабких сейсмічних подій невеликою кількістю сейсмічних станцій, несприятливими сейсмогеологічними умовами осадових порід і низькою активністю тектонічних землетрусів, які відбуваються в регіоні. Таким чином, відсутність перспективних методів розпізнавання генезису сейсмічних подій ставить дану проблему в ряд першочергових. У низці публікацій, як наприклад (Nikulins and Assinovskaya, 2018), припускається, що Литовський землетрус 12.06.15 ($M_L = 2,6$) слід віднести до техногенних сейсмічних подій.

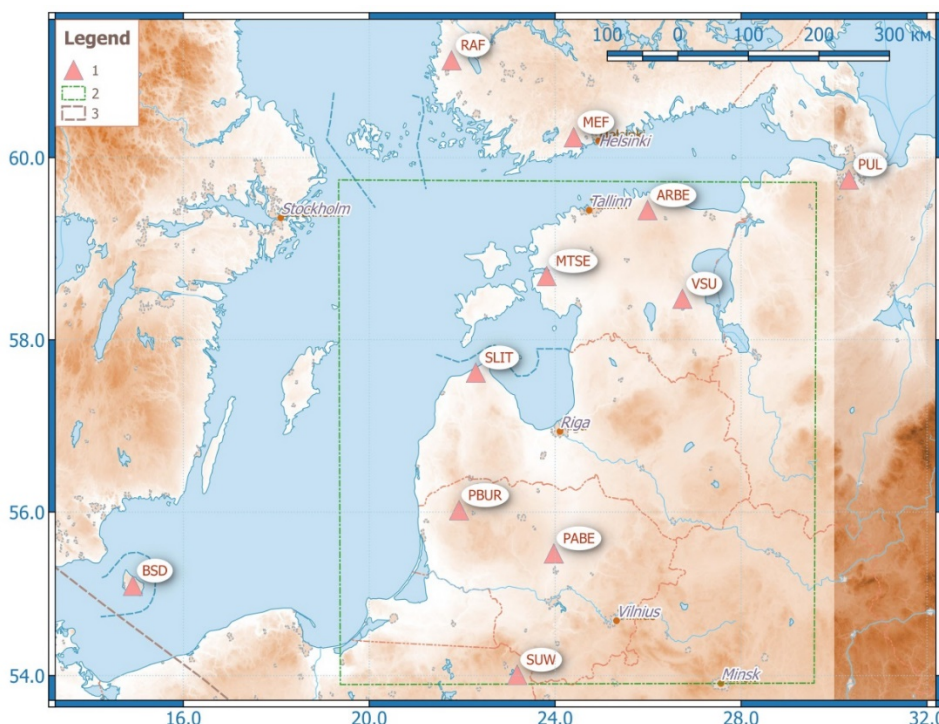


Рис. 1. Балтійська віртуальна сейсмологічна мережа BAVSEN.

Позначення: 1 – сейсмічні станції; 2 – границя Східно-Балтійського регіону; 3 – Teisseyre-Tornquist зона

У даній роботі локалізація гіпоцентру землетрусу виконувалась з використанням програми локалізації SEISAN. Оскільки методика визначення фокального механізму методом інверсії хвильових форм передбачає, що швидкісна модель має бути відомою, то в даній роботі використано п'ятишарувату модель *baltic 08* (Nikulins, 2020). Автори даної статті на основі методу інверсії хвильових форм визначають фокальний механізм даного землетрусу, використовуючи записи на трьох сейсмічних станціях: PABE, MTSE, SLIP, які належать до Балтійської віртуальної сейсмологічної мережі BAVSEN.

Метод інверсії хвильових форм для визначення механізму вогнища землетрусу з використанням даних малої кількості станцій наведено в роботах (Малицький, 2010, 2016). Метою розробленого методу є визначення параметрів джерела, яке подано тензором сейсмічного моменту у випадку моделі точкового джерела. Вхідними даними є записи сейсмічних хвиль на станціях і так зване узагальнене точкове джерело, представлене симетричним тензором сейсмічного моменту. Поширення сейсмічних хвиль у шаруватому півпросторі від такого джерела приводить до визначення поля переміщень на вільній поверхні для дальньої та

ближньої зон (Malytsky and Kozlovsky, 2014). Використовуючи матричні співвідношення тільки для прямих Р- та S-хвиль (Малицький, 2010, 2016), визначено часову функцію тензора сейсмічного моменту $M_{lm}(t)$:

$$M_{lm}(t) = M_{lm} STF(t),$$

де $STF(t)$ – часова функція джерела.

На рис. 2 зображено локалізацію гіпоцентру Литовського землетрусу 12.06.15, а також основні тектонічні розломи, пов'язані з процесами, що відбуваються у вогнищі.

Для визначення фокального механізму авторами використано сейсмічні записи на трьох станціях, які приведено до переміщень. Як приклад сейсмограми в переміщеннях на станції PABE показано на рис. 3. У роботі дається визначення механізму вогнища з використанням даних на двох станціях PABE і SLIT і на трьох станціях PABE, SLIT та MTSE. Слід зазначити, що використання сейсмічних записів на інших станціях сейсмологічної мережі BAVSEN для визначення сейсмічного тензора для Литовського землетрусу 12.06.15 було неможливим через погану якість сейсмограм. Необхідні параметри, використані в роботі для визначення сейсмічного тензора, подано в табл. 1.

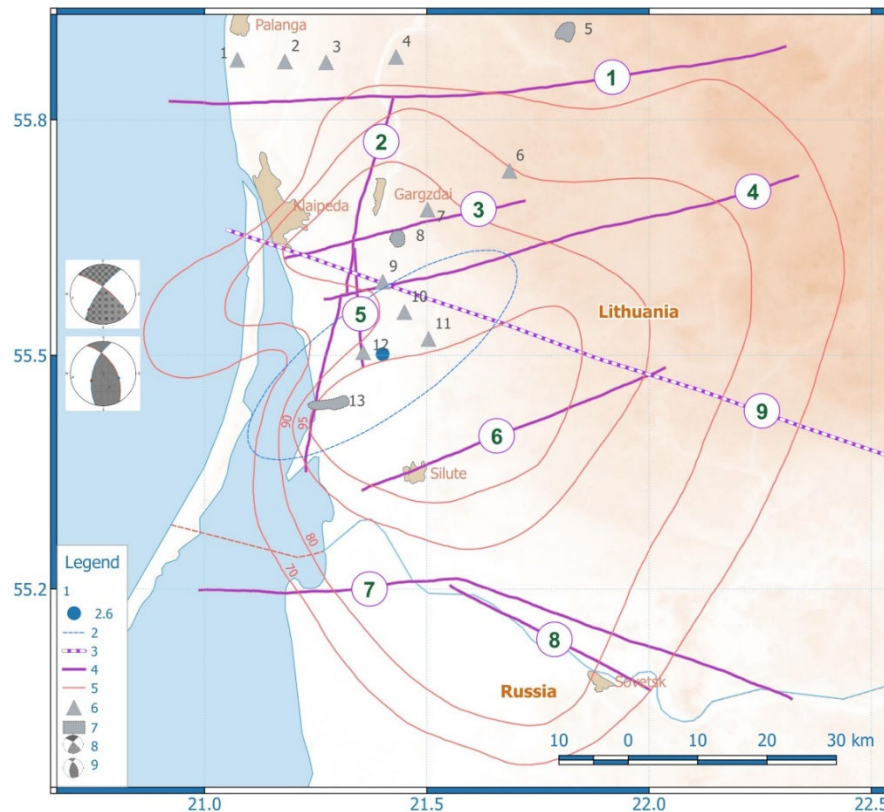


Рис. 2. Локалізація гіпоцентру Литовського землетрусу (12.06.15, $M_L = 2.6$):

- 1 – епіцентр землетрусу; 2 – еліпс помилок; 3 – розлом надрегіонального масштабу Клайпеда–Вільнюс; 4 – тектонічні розломи в кристалічному фундаменті; 5 – густина теплового потоку (mW/m^2); 6 – нафтові родовища; 7 – нафтові потенційні поля; 8 – механізм вогнища землетрусу за двома станціями; 9 – механізм вогнища землетрусу за трьома станціями. Позначення тектонічних розломів (у кружочках): 1 – Telsiai; 2 – Gargzdai; 3 – Endriejavas; 4 – South Silale; 5 – Lankupiai; 6 – Silute; 7 – North Nemunas; 8 – South Nemunas; 9 – Klaipeda–Vilnius suture (південна границя депресії в земній корі, на рівні Мохо)

Таблиця 1

Параметри сейсмічних станцій, які використано для визначення фокального механізму Литовського землетрусу (12.06.15, $M_L = 2.6$) методом інверсії хвильових форм

Станція	Широта °N	Довгота °E	Епіцентральна відстань, km	Азимут, град.
PABE	55,5052	23,9680	162	89
MTSE	58,7144	23,8146	385	21
SLIT	57,6287	22,2905	241	13

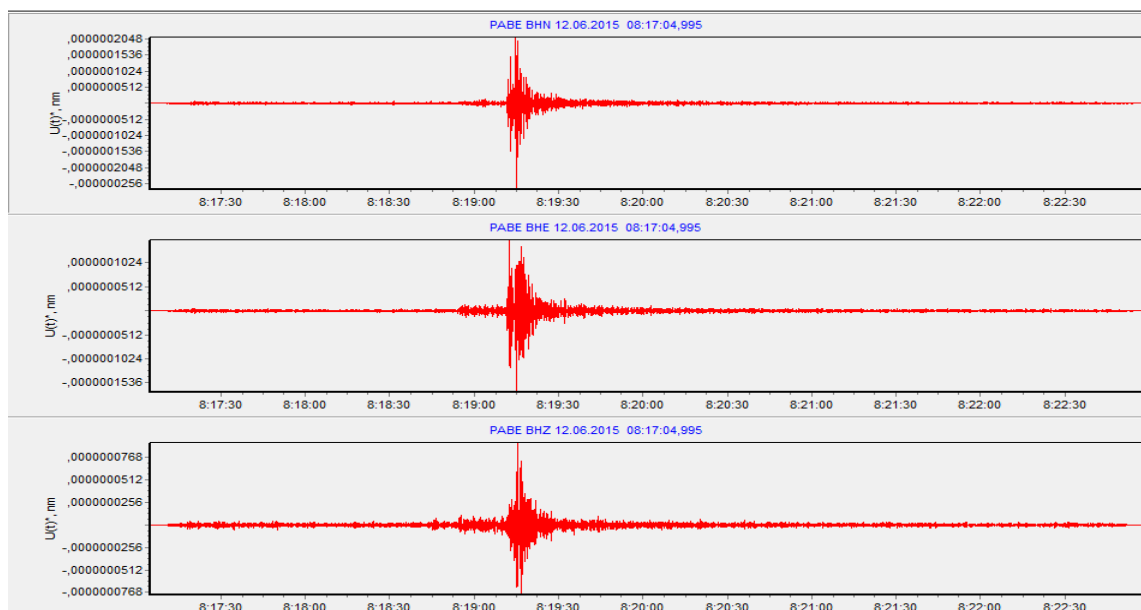


Рис. 3. Сейсмічні записи в переміщеннях на станції PABE для Литовського землетрусу 12.06.15

Механізм вогнища Литовського землетрусу 12.06.15. Відомо, що визначення механізмів вогнищ землетрусів стандартними методами, у тому числі за полярностями перших вступів Р-хвиль, потребує даних з великої кількості сейсмічних станцій, розміщених навколо епіцентру події. У випадку реєстрації землетрусу малою кількістю станцій потрібно використовувати інші методи. Такі випадки спостерігаються, коли подію зареєстрували декілька станцій, наприклад три-чотири, що часто спостерігається в регіонах з малою сейсмічністю, яким є СБР. Авторами запропоновано визначати механізм вогнищ, використовуючи сейсмічні записи на трьох станціях: PABE, MTSE, SLIT, які належать до Балтійської віртуальної сейсмологічної мережі BAVSEN. Отримавши розв'язок для сейсмічного тензора $M_{lm}(t)$ методом інверсії хвильових форм, використовуючи прямі хвилі (Малицький, 2010, 2016), визначено

механізм вогнища Литовського землетрусу (12.06.15, $M_L = 2,6$) (рис. 4). Глибина залягання джерела становить 0,9 км. Як було зазначено вище, деякі сейсмологи припускають, що дана сейсмічна подія є техногенною, це пов'язано з певними геологічними та геодинамічними умовами (Nikulins and Assinovskaya, 2018).

Таким чином, використовуючи методику визначення тензора сейсмічного моменту на основі інверсії хвильових форм для прямих Р- і S-хвиль (Малицький, 2010, 2016), визначено два види механізму вогнища землетрусу для даної події. Для визначення фокального механізму авторами використано сейсмічні записи (у переміщеннях) на двох станціях PABE і SLIT, а також на трьох станціях – PABE, SLIT, MTSE (рис. 4). Параметри двох видів вогнища Литовського землетрусу 12.06.15 згідно з рис. 4 подано в табл. 2, в якій $\varphi_s, \delta, \lambda$ – кути простирання, падіння, нахилу.

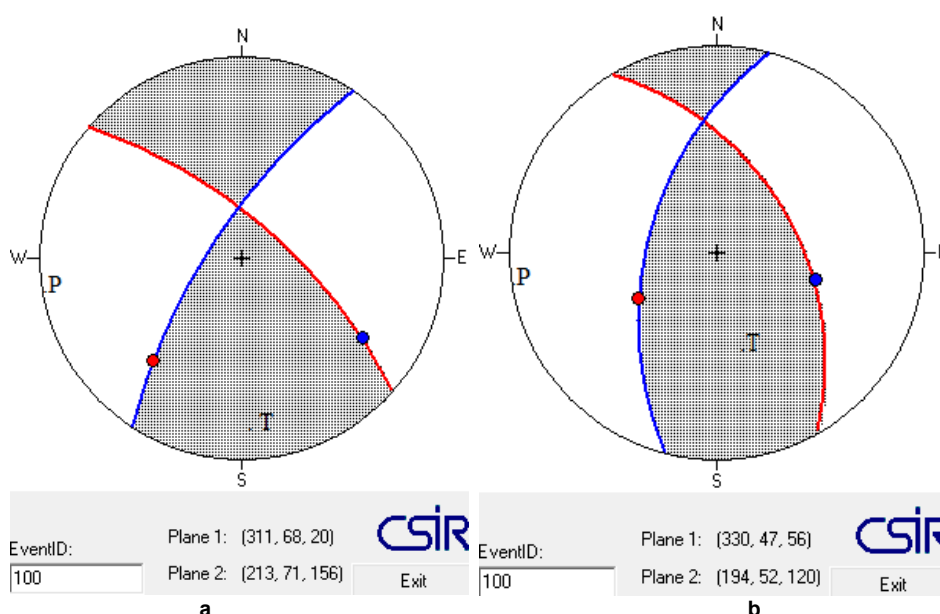


Рис. 4. Два види фокального механізму для Литовського землетрусу 12.06.15

($t_0 = 08:18:26.4$; $55,52^\circ \text{N}$, $21,40^\circ \text{E}$; $h_s = 0,9$ км; $M_L = 2,6$) на основі інверсії хвильових форм:

а – з використанням даних на станціях PABE і SLIT; б – з використанням даних на станціях PABE, SLIT і MTSE.

P – орієнтація максимального стиснення; T – орієнтація максимального розширення

Таблиця 2

Параметри фокального механізму для Литовського землетрусу 12.06.15
(час у вогнищі $t_0 = 08:18:26.4$; $55,52^\circ \text{N}$, $21,40^\circ \text{E}$; $h_s = 0,9$ км; $M_L = 2,6$) на основі інверсії хвильових форм

Вид фокального механізму за даними станцій	Нод. пл. 1			Нод. пл. 2			P, град.		T, град.	
	φ_s град.	δ град.	λ град.	φ_s град.	δ град.	λ град.	AZ	PL	AZ	PL
PABE і SLIT	311	68	20	213	71	156	84	0.5	173	29
PABE, SLIT і MTSE	330	47	56	194	52	120	83	3.5	167	66

Висновки. У роботі авторами подано два види механізму вогнища Литовського землетрусу 12.06.15 (час у вогнищі $t_0 = 08:18:26.4$; $55,52^\circ \text{N}$, $21,40^\circ \text{E}$; $h_s = 0,9$ км; $M_L = 2,6$) на основі інверсії хвильових форм, використовуючи записи на двох станціях – PABE і SLIT (рис. 4, а) та на трьох станціях – PABE, SLIT та MTSE (рис. 4, б).

Під час використання як двох, так і трьох станцій, механізм вогнища землетрусу являє собою насув із невеликою компонентою зсуву (predominately thrust faulting with a strike-slip component). Компонента зсуву залежить від положення нодальної площини (рис. 4). Для площини 1 (plane 1) – зсув лівосторонній, а для площини 2 (plane 2) – зсув правосторонній.

Епіцентр землетрусу розміщений всередині супер-регіональної структури поряд із густою сіткою

регіональних розломів, у районі інтенсивної розробки нафтових і геотермальних ресурсів (рис. 2).

Щодо тектонічної обстановки епіцентр землетрусу розташований поблизу тектонічного вузла, утвореного чотирма регіональними розломами, які пересікає *Klaipeda-Vilnius* сутура, супер-регіонального масштабу (рис. 2). *Klaipeda-Vilnius* сутура збігається з південним краєм глибинної депресії в земній корі (на рівні Мохо), орієнтованої з південного сходу на північний захід і яку виявлено в Балтійському морі. Північний край депресії розміщений за межами рис. 2. Глибинну структуру на рівні границі Мохо підтверджено на морських сейсмічних профілях під час виконання трьох незалежних міжнародних проектів: FENNOLOGRA, BABEL и BALTIC

SEA. Ширина депресії приблизно 150 км, а довжина близько 350 км (Ostrovsky et al., 1994).

Порівняння отриманих результатів для фокального механізму землетрусу (табл. 2) з розміщенням регіональних тектонічних розломів (рис. 2) показує, що розлом Gargzdai (193°) і розлом Lankuriai (175°) мають азимути простирання, які найбільш близькі до азимуту простирання нодальної площини 2 (plane 2) для трьох станцій. Азимут простирання розлому Gargzdai і згаданої вище нодальної площини 2 практично повністю збігається. Велика піввісь еліпса помилок (рис. 2) досягає 23,0 км, а мала піввісь – 8,0 км. Обидва тектонічні розломи (Gargzdai і Lankuriai) – у межах еліпса помилок. Як результат, сейсмогенною структурою перш за все слід розглядати розлом Gargzdai.

Район розміщення епіцентра землетрусу характеризується підвищенням техногенним навантаженням. Поблизу епіцентру розміщені нафтові родовища і потенційні нафтові поля: 6 – Ablinga, 7 – Vezaiciai, 8 – Siuparjai, 9 – Pietu Siupariai, 10 – Degliai, 11 – Pociiai, 12 – Vilkysiai, 13 – Sakuciai (рис. 2). Усього в районі, який обмежено контуром Palanga–Plunge–Silute, розташовані 10 родовищ нафти і 3 нафтові поля. У 2001–2002 р. тут видобуто 905 тис. т нафти. Найближче нафтове родовище Vilkysiai розміщено приблизно в 4 км від епіцентру землетрусу і віднесено до тектонічного розлому Lankuriai (рис. 2).

Крім нафтових родовищ, у даному районі розташована геотермальна аномалія з густиною теплового потоку до 95 mW/m², який є максимальним на Східно-Європейському кратоні (Kepeszinskas et al., 1996). Центр геотермальної аномалії знаходиться приблизно на відстані 14 км у південно-східному напрямі від епіцентра розглядуваного землетрусу. Литва володіє значними гідрогеотермальними ресурсами, зосередженими в основному у великих сілікатних резервуарах кембрія, нижнього девону і верхньо-середнього девону, що складені осадовими відкладами (потужністю до 2 км) Балтійського осадового басейну, який покриває ранньодкембрійський кристалічний фундамент Східно-Європейського кратону. Товщина осадового чохла збільшується із 200 м на південному сході Литви до 2,3 км – на крайньому заході Литви (Sliaupa et al., 2019).

Клайпедський геотермальний демонстраційний завод побудовано в 2000 р. і відтоді він почав виробляти тепло. У червні 2004 р. Держкомісія Литви підтвердила його потужність у 35 МВт (геотермальна частина 13,6 МВт) (Zinevicius and Sliaupa, 2010). Завод використовує воду з температурою 38 °C зі свердловини, яку пробурено в девонському водоносному горизонті на глибину приблизно 1100 м від поверхні. З метою збільшення віддачі в листопаді 2014 р. проведено радіальне буріння на напірній свердловині Klaipeda 11, розташованій на відстані приблизно 21 км від епіцентра землетрусу. Крім теплової станції Klaipeda, у Литві зростає кількість невеликих наземних теплових насосів. Загальна потужність теплових насосів у 2015 р. досягала 81,8 Mw (Sliaupa et al., 2019).

У багатьох промислових кар'єрах Литви добування корисних копалин (доломит, вапняк) відбувається з використанням вибухів. Ці кар'єри розташовані на півночі Литви (Pacesa, 2015) і віддалені від епіцентра землетрусу на достатньо великі відстані (130–167 км).

Згідно з каталогом землетрусів у Північній Європі (FENCAT, 2014), на території Литви у районі, де відбувся землетрус 12.06.20 ($M_L = 2.6$), не відмічено землетрусів як за історичний, так і за сучасний період часу (із 1375 по 2014 р.)

Із загальносвітової практики відомо, що причинами індукованих землетрусів може бути: заповнення водосховищ; побудова висотних будівель; розробка кар'єрів; видобуток підземних вод, корисних копалин, у тому числі нафти, газу та геотермальних ресурсів; прокладення тунелів; закачування рідини для захоронення відходів; підвищення нафтовіддачі; гідророзрив пласта; збереження газу; ядерні вибухи.

Таким чином, наведені вище фактори дозволяють з великим відсотком вірогідності віднести досліджуваний Литовський землетрус 12.06.15 ($M_L = 2.6$) до категорії індукованих землетрусів. Оскільки техногенне навантаження на земну кору зростає, то дослідження індукованої сейсмічності й дискримінантів, які дозволяють відрізнити техногенні й тектонічні події, стає актуальним завданням. Дане дослідження є першим кроком у цьому напрямі для Східно-Балтійського регіону. У перспективі як дискримінант передбачається використання властивостей тензора сейсмічного моменту, який отримується за інверсією хвильових форм.

Список використаних джерел

- Малицький, Д.В. (2010). Аналітично-числові підходи до обчислення часової залежності компонент тензора сейсмічного моменту. *Геоінформатика*, 1, 79–85.
- Малицький, Д.В. (2016). Математичне моделювання в задачах сейсмології. Київ: Наукова думка.
- Никулин, В.Г. (2020). Современные сейсмологические исследования в Латвии с 2008 по 2019 г. и перспективы их развития. *Российский сейсмологический журнал*, 2, 1, 27–39. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.03>
- Alekseev, A.S., Mikhailenko, B.G. (1980). The solution of dynamic problems of elastic wave propagation in inhomogeneous media by a combination of partial separation of variables and finite-difference method. *J. Geophys.*, 48, 161–172.
- Aki, K., Richards, P.G. (1980). *Quantitative seismology – Theory and method*. San Francisco: Freeman and Co.
- Ben-Menahem, A., Singh, S.J. (1981). *Seismic Waves and Sources*. New York: Springer.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 71, 959–971.
- Chapman, C.H. (1987). A new method for computing synthetic seismograms. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 54, 481–518.
- Cormier, V.P., Richards, P.G. (1977). Full wave theory applied to a discontinuous velocity increase: The inner core boundary. *J. Geophys.*, 43, 3–31.
- Dziewonski, A.M., Chou, T.A., Woodhouse, J.H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of regional and global seismicity. *J. geophys. Res.*, 86, 2825–2852.
- FENCAT (2014). Catalog of earthquakes in Northern Europe, 1375–2014. Отримано з https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Scandia_updated.html
- Fuchs, K., Muller, G. (1971). Computation of synthetic seismograms with the reflectivity method and comparison with observations. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 23, 417–433.
- Godano, M., Bardainne, T., Regnier, M., Deschamps, A. (2011). Moment tensor determination by nonlinear inversion of amplitudes. *Bull. seism. Soc. Am.*, 101, 366–378.
- Gregersen, S., Wiejacz, P., Debski, W., Domanski, B., Assinovsky, B.A., Guterch, B., Mäntyniemi, P., Nikulin, V.G., Pacesa, A., Puura, V., Aronov, A.G., Aronova, T.I., Grünthal, G., Husebye, E.S., Sliaupa, S. (2007). The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 164, 1–2, 63–74.
- Hardebeck, J.L., Shearer, P.M. (2003). Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanisms of small earthquakes. *Bull. seism. Soc. Am.*, 93, 2432–2444.
- Kennett, B.L.N. (1972). Seismic waves in laterally inhomogeneous media. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 27, 301–325.
- Kennett, B.L.N. (2002). *The Seismic Wavefield*. V. 1, 2. UK: Cambridge University Press.
- Kepeszinskas, K., Rasteniene, V., Suveizdis, P. (1996). The West Lithuanian Geothermal Anomaly. Vilnius: Institute of Geology.
- Kikuchi, M., Kanamori, H. (1991). Inversion of complex body waves-III. *Bull. seism. Soc. Am.*, 81, 2335–2350.
- Molotov, L.A. (1984). *The Matrix Method in the Theory of Wave Propagation in Layered Elastic and Liquid Media*. Moscow: Nauka.
- Malysky, D., Kozlovsky, E. (2014). Seismic waves in layered media. *J. of Earth Science and Engineering*, 4, 311–325.
- Miller, A.D., Julian, B.R., Foulger, G.R. (1998). Three-dimensional seismic structure and moment tensors of non-double-couple earthquakes at the Hengill-Grensdlur volcanic complex, Iceland. *Geophys. J. Int.*, 133, 309–325.

Nikulins, V., Assinovskaya, B. (2018). Seismicity of the East Baltic region after the Kaliningrad earthquakes on 21 September 2004. *Baltica*, 31, 1, 35–48.

Nikulins, V. (2020). Seismological monitoring in Latvia. *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*, 54 (I), 50–66. <https://doi.org/10.31905/BKETRT2R>

Ostrovsky, A.A., Flueh, E.R., Luosto, U. (1994). Deep seismic structure of the Earth's crust along the Baltic Sea profile. *Tectonophysics*, 233, 279–292.

Pacesa, A. (2015). Seismological investigations in 2014. Lietuvos geologijos tarnyba. *Technical Report*, 40–43. Отримано з <http://www.researchgate.net/publication/285588658>

Sileny, J., Panza, G.F., Campus, P. (1992). Waveform inversion for point source moment tensor retrieval with variable hypocentral depth and structural model. *Geophys. J. Int.*, 109, 259–274.

Sipkin, S.A. (1986). Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: Global seismicity, 1981–1983. *Bull. seism. Soc. Am.*, 76, 1515–1541.

Sliaupa, S., Zinevicius, F., Mazintas, A., Petrauskas, S., Dagilis, V. (2019). Geothermal Energy Use, Country Update for Lithuania. *European Geothermal Congress*.

Vavrychuk, V., Kuhn, D. (2012). Moment tensor inversion of waveforms: a two-step time frequency approach. *Geophys. J. Int.*, 190, 1761–1776.

Wiggins, R.A., Helmberger, D.V. (1974). Synthetic seismogram computation by expansion in generalized rays. *Geophys. J.*, 37, 73–90.

Zinevicius F., Sliaupa S. (2010). Lithuania – Geothermal Energy Country Update. *Proceeding World Geothermal Congress*.

References

Aki, K., Richards, P.G. (1980). Quantitative seismology – Theory and method. San Francisco : Freeman and Co.

Alekseev, A.S., Mikhailenko, B.G. (1980). The solution of dynamic problems of elastic wave propagation in inhomogeneous media by a combination of partial separation of variables and finite-difference method. *J. Geophys.*, 48, 161–172.

Ben-Menahem, A., Singh, S.J. (1981). *Seismic Waves and Sources*. New York : Springer.

Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 71, 959–971.

Chapman, C.H. (1987). A new method for computing synthetic seismograms. *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 54, 481–518.

Comier, V.P., Richards, P.G. (1977). Full wave theory applied to a discontinuous velocity increase: The inner core boundary. *J. Geophys.*, 43, 3–31.

Dziewonski, A.M., Chou, T.A., Woodhouse, J.H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of regional and global seismicity. *J. geophys. Res.*, 86, 2825–2852.

FENCAT (2014). Catalog of earthquakes in Northern Europe, 1375 – 2014. Retrieved from https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Scandia_updated.html

Fuchs, K., Muller, G. (1971). Computation of synthetic seismograms with the reflectivity method and comparison with observations. *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 23, 417–433.

Godano, M., Bardainne, T., Regnier, M., Deschamps, A. (2011). Moment tensor determination by nonlinear inversion of amplitudes. *Bull. seism. Soc. Am.*, 101, 366–378.

Gregersen, S., Wiejacz, P., Debski, W., Domanski, B., Assinovskaya, B.A., Guterch, B., Mäntyniemi, P., Nikulin, V.G., Pacesa, A., Puura, V., Aronov, A.G., Aronova, T.I., Grünthal, G., Husebye, E.S., Sliaupa, S. (2007). The exceptional

earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 164, 1–2, 63–74.

Hardebeck, J.L., Shearer, P.M. (2003). Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanisms of small earthquakes. *Bull. seism. Soc. Am.*, 93, 2432–2444.

Kennett, B.L.N. (1972). Seismic waves in laterally inhomogeneous media. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 27, 301–325.

Kennett, B.L.N. (2002). *The Seismic Wavefield*. V. 1, 2. UK : Cambridge University Press.

Kepezinskas, K., Rastenienė, V., Suveizdis, P. (1996). *The West Lithuanian Geothermal Anomaly*. Vilnius: Institute of Geology.

Kikuchi, M., Kanamori, H. (1991). Inversion of complex body waves-III. *Bull. seism. Soc. Am.*, 81, 2335–2350.

Malysky D. (2010). Analytic-numerical approaches to the calculation of seismic moment tensor as a function of time, *Geoinformatika*, 1, 79–85. [in Ukrainian]

Malysky, D. (2016). Mathematical modeling in the problems of seismology. Kyiv: Naukova Dumka. [in Ukrainian]

Malysky, D., Kozlovsky, E. (2014). Seismic waves in layered media. *J. of Earth Science and Engineering*, 4, 311–325.

Miller, A.D., Julian, B.R., Foulger, G.R. (1998). Three-dimensional seismic structure and moment tensors of non-double-couple earthquakes at the Hengill-Grensdalur volcanic complex, Iceland. *Geophys. J. Int.*, 133, 309–325.

Molotov, L.A. (1984). *The Matrix Method in the Theory of Wave Propagation in Layered Elastic and Liquid Media*. Moscow: Nauka.

Nikulins, V. (2020). Sovremennyye sjesmologicheskije issledovania v Latvii s 2008 po 2019 i perspektivy ikh razvitiya. *Rossiyskiy sjesmologicheskij jurnal*, 2, 1, 27–39. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.03> [in Russian]

Nikulins, V. (2020). Seismological monitoring in Latvia. *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*, 54 (I), 50–66. <https://doi.org/10.31905/BKETRT2R>

Nikulins, V., Assinovskaya, B. (2018). Seismicity of the East Baltic region after the Kaliningrad earthquakes on 21 September 2004. *Baltica*, 31, 1, 35–48.

Ostrovsky, A.A., Flueh, E.R., Luosto, U. (1994). Deep seismic structure of the Earth's crust along the Baltic Sea profile. *Tectonophysics*, 233, 279–292.

Pacesa, A. (2015). Seismological investigations in 2014. Lietuvos geologijos tarnyba. *Technical Report*, 40–43. Retrieved from <http://www.researchgate.net/publication/285588658>

Sileny, J., Panza, G.F., Campus, P. (1992). Waveform inversion for point source moment tensor retrieval with variable hypocentral depth and structural model. *Geophys. J. Int.*, 109, 259–274.

Sipkin, S.A. (1986). Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: Global seismicity, 1981–1983. *Bull. seism. Soc. Am.*, 76, 1515–1541.

Sliaupa, S., Zinevicius, F., Mazintas, A., Petrauskas, S., Dagilis, V. (2019). Geothermal Energy Use, Country Update for Lithuania. *European Geothermal Congress*.

Vavrychuk, V., Kuhn, D. (2012). Moment tensor inversion of waveforms: a two-step time frequency approach. *Geophys. J. Int.*, 190, 1761–1776.

Wiggins, R.A., Helmberger, D.V. (1974). Synthetic seismogram computation by expansion in generalized rays. *Geophys. J.*, 37, 73–90.

Zinevicius F., Sliaupa S. (2010). Lithuania – Geothermal Energy Country Update. *Proceeding World Geothermal Congress*.

Надійшла до редколегії 25.03.21

D. Malyskyy¹, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: dmalyskyy@gmail.com,

V. Nikulins^{1,2}, Dr. Sci. (Geol.),
E-mail: valerij.nikulins@lvgmc.lv,

¹Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,
3-b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine;

²Latvian Environment, Geology and Meteorology Center,
Riga, LV-1019, Latvia

FOCAL MECHANISM OF THE LITHUANIAN EARTHQUAKE OF BASED ON WAVEFORM INVERSION

The aim: Determination of focal mechanism of Lithuanian earthquake of 12.06.15 ($t_0 = 08:18:26.4$; 55.52° N, 21.40° E; $h_s = 0.9$ km.; $M_L = 2.6$) by waveform inversion using direct waves and a limited number of stations. **Method:** Matrix method is used for modelling of seismic wave propagation in the medium modelled as horizontally layered heterogeneous elastic structure. There were obtained the relations of displacement waves on the free surface that were used for seismic tensor determination using only direct P- and S- waves. **Determination of seismic tensor and the focal mechanism on the base of developed method for a point source is described.** Thus, based on forward modeling, numerical techniques are developed for the inversion of observed waveforms for the components of moment tensor. **Results:** In the paper, a method is presented for the focal mechanism determination of Lithuanian earthquake of 12.06.15 ($M_L = 2.6$) by waveform inversion using limited number of stations. The focal mechanism is determined using the data from two stations: PABE, SLIT and from three stations: PABE, MTSE, SLIT. These seismic stations are the part of BAVSEN (BalticVirtualSeismicNetwork). **Scientific novelty:** 1. In the paper, a method is presented for moment tensor inversion for the focal mechanism determination of events with a low seismicity. The East Baltic region (EBR) is the region with low seismicity. 2. The focal mechanism is determined using the data from a limited number of stations. **Practical significance:** The results of focal mechanism determination can be used to study seismicity for regions with a low seismicity using a limited number of stations.

Keywords: matrix method, method of waveform inversion, the focal mechanism, seismic moment tensor, direct P- and S-waves.

Д. Малицкий, д-р физ.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmalytsky@gmail.com,
Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
ул. Научная, 3-б, г. Львов, 79060, Украина;
В. Никулин, д-р геол. наук,
E-mail: valerijs.nikulins@lvgtmc.lv,
Латвийский центр окружающей среды, геологии и метеорологии,
г. Рига, LV-1019, Латвия

МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЛИТОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12.06.15 НА ОСНОВАНИИ ИНВЕРСИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ

Цель: Определение механизма очага Литовского землетрясения 12.06.15 ($t_0 = 08:18:26.4$; 55.52° N, 21.40° E; $h_s = 0.9$ км.; $M_L = 2.6$) методом инверсии волновых форм с использованием прямых волн и ограниченного количества станций. *Методика:* Матричный метод используется для моделирования распространения сейсмических волн в среде, моделируемой горизонтально-слоистой неоднородной упругой структурой. Получены соотношения волн смещения на свободной поверхности для определения сейсмического тензора с использованием только прямых P- и S-волн. Описано определение сейсмического тензора и механизма очага на основе разработанной методики для точечного источника. Таким образом, на основе прямого моделирования разработан численный метод инверсии наблюдаемых форм сигналов для компонентов тензора момента. *Результаты:* В статье представлен метод определения механизма очага землетрясения в Литве (12.06.15, $M_L = 2.6$) путем инверсии формы волны с использованием ограниченного количества станций. Механизм очага определяется на основании данных: двух станций – PABE, SLIT и трех станций – PABE, MTSE, SLIT. Эти сейсмические станции являются частью BAVSEN (Балтийская виртуальная сейсмическая сеть). Научная новизна и практическая значимость: Представлен метод обращения тензора моментов для определения механизма очага событий с низкой сейсмичностью (Восточно-Балтийский регион – регион с низкой сейсмичностью). Механизм очага определяется с использованием данных ограниченного числа станций. Результаты определения механизма очага могут быть использованы для изучения сейсмичности для регионов с низкой сейсмичностью с использованием ограниченного количества станций.

Ключевые слова: матричный метод, метод инверсии волновых форм, механизм очага землетрясения, тензор сейсмического момента, прямые P- и S-волны.

УДК 550.382.3+631.551.321

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06>О. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

О. Меньшов², д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

В. Коляда¹, канд. сільгосп. наук, зав. лаб.;А. Ачасова¹, канд. біол. наук, доц., ст. наук. співроб.;О. Андреева², канд. геол. наук, наук. співроб.,

E-mail: andreeva_ea@ukr.net;

¹ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського",
вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна;²Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ДО ПИТАННЯ КОМПЛЕКСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ТА АГРОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ СХИЛОВИХ ЗЕМЕЛЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Підвищення темпів деградації ґрунтового покриву сільськогосподарських земель України викликає необхідність удосконалення системи їхнього обстеження. У першу чергу йдеться про підвищення точності визначень і підвищення щільності мережі опробувань. Для виконання цих завдань залучаються нові методи, передусім з арсеналу геофізики. Певні переваги несе комплексне їхнє застосування, науково обґрунтоване раціональне поєднання. Протягом останнього часу отримано оптимістичні результати застосування даних про магнітну сприйнятливість ґрунту для характеристики його агрономічних властивостей. У даному дослідженні показано результати комплексного застосування низки агрохімічних методів і визначень питомої магнітної сприйнятливості (МС) на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області. Установлено можливості проведення розробки значень ґрунтових характеристик, виходячи з результатів визначення МС. Характер кореляції МС і вмісту гумусу дозволяють рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві визначення МС. За основу в ході досліджень схилових земель рекомендується приймати інформацію про МС ґрунту як найбільш доступну, що коректно відображає просторовий розподіл основних показників еродованих земель: вмісту гумусу та фізичної глини.

Ключові слова: ґрунт, гумус, ерозія, комплексування, магнітна сприйнятливість.

Вступ. Домінуючим процесом, що впливає на продовольчу безпеку людства, є прогресуюче зниження якості сільськогосподарських ґрунтів – деградація ґрунтового покриву. Серед факторів, що здатні знизити інтенсивність цього процесу – оптимізація землекористування, що базується на максимально можливій інформації про стан ґрунту. Це дозволяє застосовувати адекватні агротехнічні та агрохімічні заходи, що забезпечують вихід на рівень сталого землеробства. Особливо актуальним це є на схилових ґрунтах, коли деградаційні процеси прискорюються внаслідок проявів водної ерозії. Так, тільки в Україні налічується до 14 млн га таких земель. У цьому випадку внаслідок додаткової дисперсії значень характеристик ґрунтів отримання актуальної інформації про стан ґрунтового покриву пов'язано з необхідністю підвищення густини мережі опробувань. Середній розмір земельної ділянки в Україні становить близько 4 га, тобто всього налічується до 7 млн землекористувань. Ураховуючи можливості сучасних агрохімічних та агрофізичних методів, можна стверджувати про необхідність значних витрат трудових і матеріальних ресурсів, що часто перевищують можливості відповідних сервісних служб.

Розв'язання проблеми лежить у площині застосування інших, більш продуктивних методів. Більшість із них належить до арсеналу сучасної геофізики, це оптичні, магнітометричні та електрометричні (Dychkovskiy et al., 2020; Petlovanyi et al., 2019; Onanko et al., 2011). Крім того, широко використовуються дані космічної та аерозйомки. Проте тут існують певні труднощі методичного та технічного характеру – як і переважна більшість непрямих методів вони характеризуються високим ступенем невизначеності, що не дозволяє проводити однозначну інтерпретацію результатів цих досліджень. Така ж проблема пов'язана з точністю результатів математичного моделювання ерозійних процесів або потенційного змиву, вона залежить від якості вихідних картографічних матеріалів і коректності оцінки функціональності агролісомеліоративних протиерозійних

заходів. Масовому ж застосуванню оптичних методів заважає необхідність урахування особливостей ґрунтогенезу на рівні підтипу, що спричиняє значну невідповідність результатів (Сироткин и др., 2020).

Однак у практиці існує геофізична дисципліна, що покликана підвищувати достовірність висновків, отриманих у результаті застосування окремих методів. Це відбувається завдяки розробці ефективних схем їхнього комплексування.

Мета роботи – показати основні напрями розробки схем комплексування методів досліджень схилових земель.

Стан проблеми. Комплексування, а точніше комплексна інтерпретація результатів, отриманих різними методами, відбувається за допомогою створення багатознакової моделі, кожен структурний елемент якої характеризується кількома величинами, що мають різну природу (Известия..., 1994). Для комплексування зазвичай відбираються методи, імовірність яких перевищує 0,5 (Сергій, 2008). Комплексування методів досліджень є однією з основ проведення сучасного бонітування ґрунтів (Миллер і Безродова, 2014).

Такий важливий елемент ґрунтознавства, як побудова ґрунтової карти, включає в себе такі складові: морфологічні ознаки ґрунтового розрізу, агрохімічні та агрофізичні показники. Інтерполяція даних опорних розрізів відбувається за показниками рельєфу (гіпсометричні позначки) або ж за структурними елементами ландшафту (Розанов, 1975). Це свідчить про те, що комплексування методів досліджень лежить у самій основі сучасного ґрунтознавства. Загалом ця наука, як вважається, об'єднала (з певною модифікацією) методи фізики, хімії, біології, геології, мінералогії та інших наук (Герасимов, 1974). Необхідність проведення більш точних і масових досліджень зумовила залучення низки нових методів, передусім геофізичних. Ще з 50-х рр. минулого століття для діагностики генетичних горизонтів профілю застосовується магнітна сприйнятливості ґрунту (Borgne, 1955).

З розвитком засобів вимірювальної техніки та методик проведення вимірювань спостерігається зростання кількості застосування методів геофізики для досліджень ґрунтового покриву. Передусім це стосується оптичних і магнітометричних методів. Так було досліджено високий ступінь зв'язку між значеннями магнітної сприйнятливості в ґрунтах і вмісту в них органічної речовини (Круглов та ін., 2018; Меньшов, 2016, 2018; Меньшов та ін., 2016). Це дало змогу рекомендувати метод для заміни більш вартісного вимірювання вмісту гумусу у випадках, коли необхідно отримати досить щільну мережу вимірювань, передусім у разі вимірювання еродованості ґрунтів та оцінки його втрат (Royall, 2007; Jakšik et al., 2016). Було запропоновано проводити розробку аномальних значень результатів ерозійного моделювання за допомогою картограм значень МС (Круглов та ін., 2020).

Слід зазначити, що саме МС ґрунту стала найбільш досліджуваною його характеристикою. Було доведено тісний зв'язок між цим показником і вмістом фізичної глини $R^2 = 0,83$, загальним вуглецем $R^2 = 0,85$ і загальним азотом $R^2 = 0,77$ (de Souza Bahia et al., 2017). На прикладі тропічних фералітичних ґрунтів Колумбії показано зв'язок об'ємної МС з їхніми основними фізичними показниками: вміст піску $R = 0,88$, вміст глинистої фракції $R = 0,85$, густина ґрунту $R = 0,51$ і теплопровідність $R = 0,67$ (Jimenez et al., 2017).

Високий ступінь кореляції вмісту гумусу та МС чорнозему на схилах дозволив зробити припущення про зв'язок магнітних параметрів з іншими, що визначаються розвитком ерозійних процесів. Такий дослід було поставлено на півночі Харківщини: показано тісний зв'язок МС, вмісту гумусу, вмісту фізичної глини та результатів ерозійного моделювання (індекс ерозійної небезпеки за М.В. Куценком) (Круглов, 2012). Ущільнення мережі опробувань у три рази підтвердило встановлені факти. Це дозволяє стверджувати про можливість часткової заміни більш вартісних визначень гумусу магнітометричними дослідженнями та використання МС як індикатора ґрунтових умов.

Узагалі картограми просторового розподілу МС як по латералі так і по вертикалі починають використовуватися як фактор зонування окремих робочих ділянок (Miroshnychenko et al., 2020) за основними агрономічними властивостями, а також для виділення зон забруднення ґрунтового покриву (Łukasik et al., 2021). Вважається, що деякі елементи мають тісну кореляцію із частотно-залежною МС або ж асоційовані з питомою МС (Grison et al., 2018; Menshov et al., 2021).

Застосування інших геофізичних методів, насамперед електророзвідки, пов'язано з визначенням вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод. Якщо останній має значення лише для визначення потенційних розвитку галоморфних процесів, то вологість кореневмісного шару (на глибину, що значно перевищує глибини традиційних агрофізичних визначень) є основою як для програмування врожайності, так і для висновків з екології ґрунтогенезу (Шепель та ін., 2003).

Методи дистанційного зондування попри високу економічну ефективність мають низку обмежень. Перш за все, це необхідність роботи з ділянками без рослинного покриву з однорідним механічним оброботком ґрунту. Таким чином, поза увагою залишаються площі, на яких застосовуються технології no-till і mini-till і посіви багаторічних культур, які в умовах глобального потепління розширюються. Методи електророзвідки обмежені погодними умовами (випадання опадів) і

підвищеною щільністю ґрунту, що не дає змоги контролювати рівномірність установлення електродів.

Усе це створює передумови для поширення застосування саме магнітних методів і комплексування їх з іншими технологіями.

Методи та територія дослідження. У процесі виконання даної роботи використано стандартизовані визначення вмісту органічного вуглецю (із подальшим перерахунком у гумус) за ДСТУ ISO 14235:2005 і визначення гранулометричного складу ґрунту методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського (ДСТУ-4730:2007). Характеристику ерозійного статусу земель проводили за допомогою математичного моделювання: визначення індексу ерозійної небезпеки (Куценко та Тимченко, 2016). Питому магнітну сприйнятливості ґрунту визначали за допомогою капамістка KLY-2 (Чехія) за методикою (Evans and Heller, 2003). Маса зразка ґрунту визначалася за допомогою електронних ваг ОНАУС 402. Використовувались методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004. Візуалізація результатів дослідження проводилася у середовищі QGIS. Проведено статистичний аналіз даних за допомогою стандартного програмного пакету.

Дослідна ділянка була розташована в ареалі поширення чорноземів опідзолених – північна частина Харківського району Харківської області. Вона використовується в активному сільськогосподарському обробітку – вирощування польових сільськогосподарських культур. Типова належність ґрунту була визначена за даними великомасштабного обстеження та підтверджена польовими дослідженнями. Уміст гумусу в ґрунті – 2,7–4,4 %, фізичної глини – 48–57 %, МС – $509\text{--}811 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$. Схили характеризуються ухилом до 6° та довжиною до 550 м, діапазон значень індексу ерозійної небезпеки становить від 0,46 до 1,79.

Виклад основного матеріалу. Схилі землі – це ареал специфічного ґрунтоутворення, особливості якого визначаються сполученням двох груп факторів, що мають виражену просторову неоднорідність впливу, яка відбивається у диференціації їхнього ґрунтового покриву. Природні чинники – просторова неоднорідність гідротермічних умов, що спричиняється трансформувальним впливом рельєфу та неоднорідності просторового розподілу ґрунтоутворних порід. Це спричиняє відмінність умов ґрунтогенезу від фонових (такі, що властиві плакорним землям) параметрів балансу тепла та вологи. Така неоднорідність у свою чергу стає причиною як неоднорідності розвитку рослинного покриву, так і умов трансформації органічної речовини, формування таких параметрів ґрунту, як уміст гумусу, глибина профілю та його морфологічна будова. Трансформувальний вплив рельєфу зумовлює неоднорідність ґрунтово-гідрологічних процесів на схилах і наявність зон з різним ризиком розвитку ерозійних процесів.

Антропогенні чинники – сільськогосподарське та лісогосподарське використання земель змінює напрямок ходу природних процесів ґрунтоутворення, підсилюючи та переспрямовуючи поверхневий і внутрішній стік, змінюючи процеси евапотранспірації та інтенсивність біогеохімічного колообігу на схилах за рахунок антропогенної трансформації рослинного покриву та механічного обробітку ґрунту, хімізації. Саме ці чинники і визначають комплекс методів досліджень схилів земель.

Загалом склад комплексу методів визначають залежно від завдань дослідження, вони по можливості не повинні дублюватися (Новицький, 1974). Такими завданнями під час дослідження схилів земель є ерозійний статус (ступінь еродованості та ступінь потенційного

змиву), точні значення агрономічних характеристик (уміст гумусу, рН, уміст елементів живлення, щільність будови та деякі ін.). Передусім слід проаналізувати можливості відомих закономірностей та залежностей, отриманих за допомогою геофізичних методів в агроландшафтах України.

Фізичний зміст застосування різних видів магнітної сприйнятливості полягає в існуванні педогенних сполук заліза, утворення яких викликано умовами ґрунтогенезу (Jordanova, 2016). Як правило, вони концентруються в дрібніших фракціях ґрунту. Нашими дослідженнями було показано залежність гранулометричного складу (уміст фізичної глини – сума фракцій $\leq 0,01$ мм) схилових ґрунтів від МС ґрунту (рис. 1).

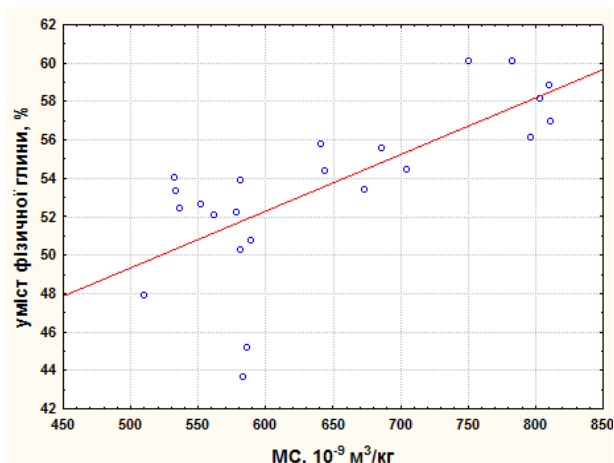


Рис. 1. Графік залежності МС ґрунту та вмісту фізичної глини на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Дані на рис. 1 свідчать про тісний зв'язок між досліджуваними показниками на всьому діапазоні значень ($R^2 = 0,76$). Певні розбіжності спостерігаються лише для низьких значень вмісту фізичної глини (у лівому нижньому куті графіка). На нашу думку, це загалом підтверджує гіпотезу про концентрацію феромагнітних мінералів у тонких фракціях чорноземів.

Уміст фізичної глини в ґрунтах корелює з результатами математичного моделювання ерозії (рис. 2). Тенденція зниження цього показника вниз по схилу для автоморфних ґрунтів загальновідома (Джерард, 1984). У даному випадку ($R^2 = 0,75$), він також знижується з ростом потенційної енергії тимчасових водних потоків. Індекс ерозійної небезпеки показує кратність перевищення водним потоком порогової нерозмивної швидкості.

Як і в попередньому випадку ми спостерігаємо максимальні розбіжності між досліджуваними рядами в області мінімальних значень вмісту фізичної глини та відповідно в зоні, найбільш схильної до ерозії. У структурі ґрунтового покриву цієї частини поля відмічається присутність перевідкладеної ґрунтової речовини.

Зв'язок між МС та індексом ерозійної небезпеки більш тісний ($R^2 = 0,88$). Тут відсутні суттєві відхилення від очікуваних значень (рис. 3). У результаті виникають сумніви в коректності визначення вмісту фізичної глини у двох означених пробах.

Щодо вмісту гумусу в пробах, то він демонструє тісний зв'язок з усіма досліджуваними характеристиками (рис. 4). Коефіцієнт кореляції з МС більш виражений: $R^2 = 0,84$, з показником індексу ерозійної небезпеки нижчий, з вмістом фізичної глини $R^2 = 0,41$.

Знову спостерігається неузгодження в області малих значень вмісту фізичної глини. Дві проби з

найменшими значеннями показника найбільш відхиляються від очікуваних значень, тоді як для МС це не визначено. Порівнявши два графіки, можна зробити висновок про необхідність вибірки двох вимірювань вмісту фізичної глини. У результаті цього заходу кореляція між досліджуваними показниками суттєво зростає.

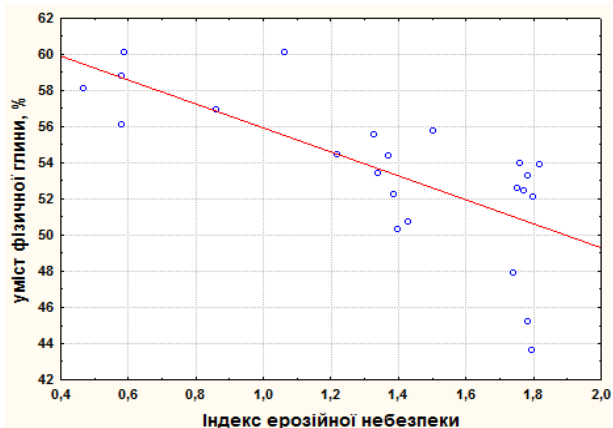


Рис. 2. Графік залежності індексу ерозійної небезпеки схилових земель та вмісту фізичної глини в ґрунті на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

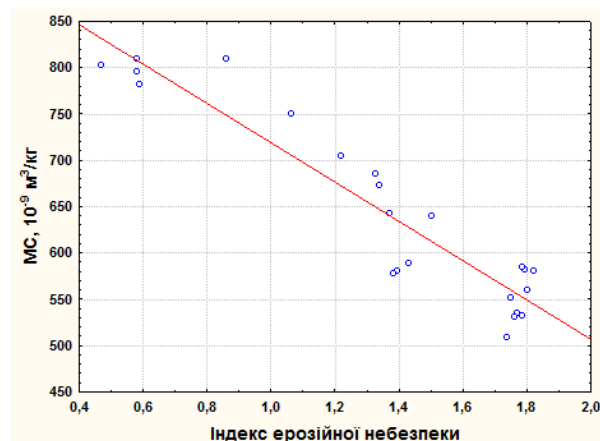


Рис. 3. Графік залежності індексу ерозійної небезпеки схилових земель і МС ґрунту на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

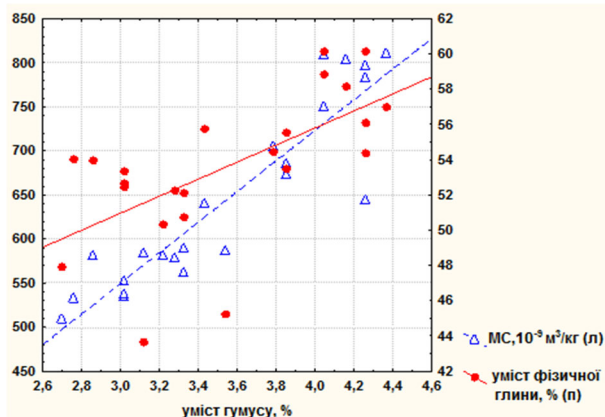


Рис. 4. Графік залежності МС ґрунту та вмісту фізичної глини і гумусу на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Коефіцієнт кореляції значень МС та вмісту гумусу з індексом ерозійної небезпеки досить тісний (рис. 5).

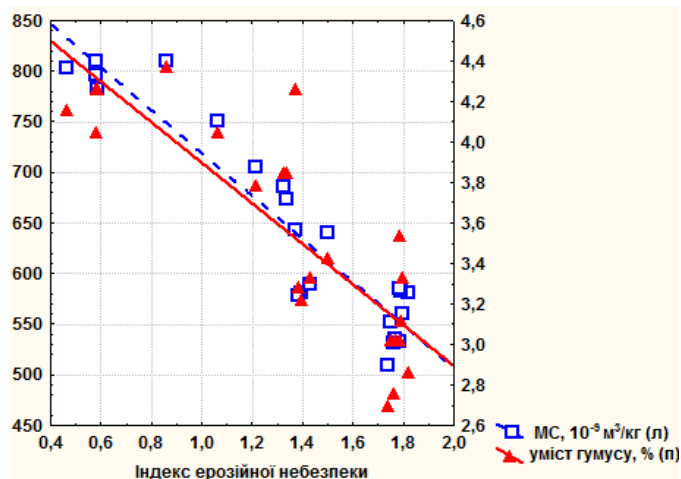


Рис. 5. Графік залежності МС ґрунту, вмісту гумусу та індексу ерозійної небезпеки на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Як свідчать дані рис. 5 значення коефіцієнта кореляції МС та вмісту гумусу з індексом ерозійної небезпеки практично однакові. Вищі відхилення від очікуваних значень характерні, порівняно з МС, для значень вмісту гумусу.

Водночас тісний характер кореляції МС та вмісту гумусу дозволяють рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві МС. Взагалі за основу в процесі дослідження схилів земель оптимальніше було б приймати інформацію про МС ґрунту як найбільш доступну, що коректно відображає просторовий розподіл основних показників еродованих земель: вмісту гумусу та фізичної глини.

Висновки. У результаті проведених досліджень показано приклад комплексування досліджень схилів земель на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області. Установлено можливості проведення розробки значень ґрунтових характеристик, виходячи з результатів визначення МС. Характер кореляції МС та вмісту гумусу дозволяє рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві МС. Установлено зв'язок між МС та індексом ерозійної небезпеки на рівні $R^2 = 0,88$. Щодо вмісту гумусу в пробах, то він демонструє тісний зв'язок з усіма досліджуваними характеристиками, коефіцієнт кореляції з МС достатньо виражений: $R^2 = 0,84$. Рекомендується комплексування магнітних методів з методами дистанційного зондування для ділянок без рослинного покриття з однорідним механічним обробітком ґрунту, електророзвідкою з урахуванням опадів і підвищеної щільності ґрунтового покриття.

Список використаних джерел

- Герасимов, І.П. (1974). Рождение почвоведения как самостоятельной естественной науки и роль Международного общества почвоведов в его дальнейшем развитии. *Почвоведение*, 7, 3–15.
- Джерард, А.Дж. (1984). Почвы и формы рельефа. Л.: Недра.
- Известия высших учебных заведений: Геология и разведка. (1994). М.
- Круглов, О., Коляда, В. та ін. (2020). До питання дослідження інформаційного забезпечення створення сталих агроландшафтів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 34, 184–193.
- Круглов, О., Меньшов, О., Улько, Є., Кучер, А., Назарок, П. (2018). Індикація ерозійних процесів у ґрунтовому покритті Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(82), 36–44.
- Круглов, О.В. (2012). Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського нац. аграрного ун-ту. Сер. Ґрунтознавство*, 4, 66–69.
- Кученко, М.В., Тімченко, Д.О. (2016). Теоретичні основи організації системи охорони ґрунтів від ерозії в Україні: монографія. Харків: Миська друкарня.
- Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(73), 33–37.

Меньшов, О.І. (2016). Застосування магнітних методів для контролю змін продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 38(4), 130–137.

Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 80(1), 40–45.

Миллер, Г.Ф., Безбородова, А.Н. (2014). Сочетание оценочных методов при исследовании эрозионно-опасных и эродированных почв Присалаирья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 16, 1(4), 1099–1101. Отримано з <https://cyberleninka.ru/article/n/sochetanie-otsenocnyh-metodov-pri-issledovanii-erozionno-opasnyh-i-erodirovannyh-pochv-prisalaurya>

Новицкий, Г.П. (1974). Комплексирование геофизических методов разведки. Л.: Недра.

Розанов, Б.Г. (1975). Генетическая морфология почв. М.: Изд-во Московского университета

Сергій, Г.Б. (2008). Деякі питання спрощеного підходу до оцінки ймовірностей достовірності комплексної інтерпретації. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. Зб. наук. пр.*, 121–126.

Сироткин, В.В., Васюков, С.В., Усманов, Б.М. (2020). Изучение почвенных параметров на основе полевых спектрометрических данных. *Вестник Удмуртского университета. Серия "Биология. Науки о Земле"*, 30 (1), 71–82.

Шепель, С.І., Рева, М.В., Онищук, І.І., Сухорада, А.В. (2003). Електрометрія ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(26), 36–39.

Borgne, E. (1955). Susceptibilité Magnétique anormal du sol susperficiel. *Annales de Geophysique*, V.11, 4, 399–419.

De Souza Bahia, A., Marques Junior, J., La Scala Junior, Cerri, C.E., Camargo, L.A. (2017). Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 81, 1450–1462.

Dychkovskiy, R., Shavarskiy, Ia., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>

Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Academic press.

Grisson, H., Petrovsky, E., Kapicka, A., Hanzlikova, H. (2018). How Magnetic Susceptibility Reflects the Distribution of Major and Trace Elements in Forest Andosols in the French Massif Central. *16th Castle Meeting New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Chęciny, Poland*, 423 (C-112), 49–50.

Jakšić, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil & Water Res.*, 11, 105–113.

Jimenez, A., Cristian et al. (2017). Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. *Rev. Cienc. Agr.* [online], 34, 2, 33–45. ISSN 0120-0135.

Jordanova, N. (2016). Soil magnetism. Academic Press.

Łukasik, A., Szuszkiewicz, M., Wanic, T., Gruba, P. (2021). Three-dimensional model of magnetic susceptibility in forest topsoil: An indirect method to discriminate contaminant migration. *Environmental Pollution*, 274, 116491.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural Land Pechenig, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696. DOI:10.1007/s11200-018-0803-1

Miroshnychenko, M., Kruglov, O., Nazarov, P., Kovalenko, S. (2021). Identification of the Structure of Soil Cover by Magnetic Susceptibility. In book: *Soils Under Stress*. Springer.

Onanko, Y.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 33, 529–533.

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

Royall, D. (2007). A comparison of mineral-magnetic and distributed RUSLE modeling in the assessment of soil loss on a southeastern U.S. cropland. *Catena*, 69, 170–180.

References

Borgne, E. (1955). Susceptibilité Magnétique anormale du sol superficiel. *Annales de Géophysique*, V.11, 4, 399–419.

De Souza Bahia, A., Marques Junior, J., La Scala Junior, Cerri, C.E., Camargo L.A. (2017). Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 81, 1450–1462. DOI: 10.2136/sssaj2017.06.0206

Dychkovskiy, R., Shavarskiy, I., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>

Dzherard, A. Dzh. (1984). *Pochvy i formy rel'yefa*. L.: Nedra.

Evans, M., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of environmental magnetism*. Academic press. ISBN: 9780122438516

Gerasimov, I.P. (1974). Rozhdeniye pochvovedeniya kak samostoyatel'noy yestestvennoy nauki i rol' Mezhdunarodnogo obshchestva pochvovedov v yego dal'neyshem razviti. *Pochvovedeniye*, 7, 3–15.

Grisson, H., Petrovsky, E., Kapicka, A., Hanzlikova, H. (2018). How Magnetic Susceptibility Reflects the Distribution of Major and Trace Elements in Forest Andosols in the French Massif Central. *16th Castle Meeting New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Chęciny, Poland*, 423 (C-112), 49–50. DOI: 10.25171/InstGeoph_PAS_Pubs-2018-026

Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Geologiya i razvedka. (1994). M.

Jakšik, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil & Water Res.*, 11, 105–113. DOI: 10.17221/233/2015-SWR

Jimenez, A., Cristian et al. (2017). Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. *Rev. Cienc. Agr.* [online], 34, 2, 33–45. ISSN 0120-0135. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.70>

Jordanova, N. (2016). *Soil magnetism*. Academic Press. ISBN: 9780128092392

Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(82), 36–44.

Kruhlov, O., Kolyada, V. et al. (2020). Do pytannya doslidzhennya informatsynoho zabezpechennya stvorenniya stal'nykh ahrolandshaftiv. *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neoeekolohiyi*, 34, 184–193. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-18>

Kruhlov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu mahnitnoyi spryynatylyvosti chornozemu typovoho na skhylakh. *Visnyk Kharkiv's'koho nats. ahroholno un-tu. Ser. Hruntoznastvo*, 4, 66–69.

Kutsenko, M.V., Timchenko, D.O. (2016). Teoretychni osnovy orhanizatsiyi systemy okhorony gruntiv vid eroziyi v Ukraini: monohrafiya. Kharkiv: Mis'ka drukarnya.

Lukasik, A., Szuszkiewicz, M., Wanic, T., Gruba, P. (2021). Three-dimensional model of magnetic susceptibility in forest topsoil: An indirect method to discriminate contaminant migration. *Environmental Pollution*, 274, 116491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116491>

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of Ukraine soils. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80(1), 40–45.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural Land Pechenig, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>

Menshov, O., Kuderavets, R., Popov, S., Homenko, R., Sukhorada, A., Chobotok, I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(73), 33–37.

Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskij zhurnal*, 38(4), 130–137.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696. DOI: 10.1007/s11200-018-0803-1

Miller, G.F., Bezborodova, A.N. (2014). Sochetaniye otsenochnykh metodov pri issledovanii erozionno-opasnykh i erodirovannykh pochv Prislalir'ya. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 16, 1(4), 1099–1101. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/sochetanie-otsenochnykh-metodov-pri-issledovanii-erozionno-opasnykh-i-erodirovannykh-pochv-prislalirya>

Miroshnychenko, M., Kruglov, O., Nazarov, P., Kovalenko, S. (2021). Identification of the Structure of Soil Cover by Magnetic Susceptibility. In book: *Soils Under Stress*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8_6

Novitskiy, G.P. (1974). Kompleksirovaniye geofizicheskikh metodov razvedki. L.: Nedra.

Onanko, Y.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 33, 529–533.

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

Royall, D. (2007). A comparison of mineral-magnetic and distributed RUSLE modeling in the assessment of soil loss on a southeastern U.S. cropland. *Catena*, 69, 170–180. DOI: 10.1016/j.catena.2006.06.001

Rozanov, B. G. (1975). *Geneticheskaya morfologiya pochv*. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta.

Serhiy, H.B. (2008). Deyaki pytannya sproshchenoho pidkhotu do otsinky ymovirnostey dostovirnosti kompleksnoyi interpretatsiyi. *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky. Zb. nauk. pr.*, 121–126. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/12607>

Shepel, S.I., Reva, M.V., Onyshchuk, I.I., Sukhorada, A.V. (2003). Elektrometriya hruntiv Ukrainy. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(26), 36–39.

Sirotkin, V.V., Vasyukov, S.V., Usmanov, B.M. (2020). Izucheniye pochvennykh kharakteristik na osnove polevykh spektrometricheskikh dannykh. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya "Biologiya. Nauki o Zemle"*, 30 (1), 71–82. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-71-82

Надійшла до редколегії 25.03.21

O. Kruglov1, PhD (Geol.), Senior Researcher,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

O. Menshov2, Dr. Sci.(Geol.), Senior Researcher,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

V. Kolada1, PhD (Agri.), Head of Laboratory;

A. Achasova1, PhD (Biol.), Senior Researcher;

O. Andreeva2, PhD (Geol.), Researcher;

1NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research n. a. O.N. Sokolovskiy",

4 Chaikovska Str., Kharkiv, Ukraine.

2Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

INTEGRATING OF GEOPHYSICAL AND AGROCHEMICAL METHODS FOR SLOPE LANDS STUDYING

The increasing of the soil degradation of agricultural lands in Ukraine requires the improvement of their survey system. First of all, it is related to the increase of the accuracy of determinations and the density of the measurement grid. To perform these tasks, new methods are involved, primarily the geophysics ones. There are certain advantages of the integration of the studies as well as development of the substantiated rational combination of methods. Recently, promising results of the application of the magnetic susceptibility of soil to characterize the agronomic properties have been obtained. This study shows the results of the integrated application of a number of agrochemical methods and determinations of mass-specific magnetic susceptibility (MS) on the example of podzolized chernozems of Kharkiv district of Kharkiv region. We identified the possibilities of culling of values of soil characteristics from the proceeding of the results of definition of MS. The nature of the correlation between MS and humus content allows us to recommend the replacement of more expensive determination of humus content with cheaper MS. Soil magnetic susceptibility correctly reflects the spatial distribution of the main indicators of eroded lands: the humus content, and physical clay. We propose the study of sloping lands with more optimal techniques of the MS measurement of the soil as the most accessible tool.

Keywords: soil, humus, erosion, integrating, magnetic susceptibility.

А. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

А. Меньшов², д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

В. Коляда¹, канд. сельхоз. наук, зав. лаб.;

А. Ачасова¹, канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр.;

Е. Андреева², канд. геол. наук, науч. сотр.;

¹ННЦ "Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского",

ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина;

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЕЛЬ НА СКЛОНЕ

Ускорение темпов деградации почвенного покрова сельскохозяйственных земель Украины вызывает необходимость совершенствования системы их обследования. В первую очередь речь идет о повышении точности определений и плотности сети измерений. Для выполнения этих задач привлекаются новые методы, прежде всего из арсенала геофизики. Определенные преимущества несет комплексное их применение, научно обоснованное рациональное сочетание. В последнее время получены оптимистические результаты применения данных о магнитной восприимчивости почвы для характеристики агрономических свойств. В данном исследовании показаны результаты комплексного применения ряда агрохимических методов и определений удельной магнитной восприимчивости (МВ) на примере черноземов оподзоленных Харьковского района Харьковской области. Установлены возможности проведения разбраковки значений почвенных характеристик, исходя из результатов определения МВ. Характер корреляции МВ и содержания гумуса позволяет рекомендовать замену более дорогих определений содержания гумуса на более дешевые измерения МВ. За основу при исследованиях земель на склонах рекомендуется принимать информацию о МВ почвы как наиболее доступную информацию, которая корректно отражает пространственное распределение основных показателей эродированных земель: содержание гумуса и физической глины.

Ключевые слова: почва, гумус, эрозия, комплексирование, магнитная восприимчивость.

УДК 551.243.8:550.83 (476/477)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.07>

М. Баньковський, канд. геол. наук,
E-mail: mishbank@gmail.com;
А. Гейхман, канд фіз.-мат. наук,
E-mail: anatolgeykhman@gmail.com;
І. Потапчук, канд геол.-мінерал. наук;
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55-Б, Київ-54, 01601, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ХВИЛЬОВОГО МЕТОДУ ПРОДОВЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ПОЛІВ У НИЖНІЙ ПІВПРОСТІР ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ГЛИБИННОЇ БУДОВИ ЗЕМЛІ І ПОШУКУ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

(Представлено членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук І.М. Корчагіним)

Розглядається методика дослідження глибинної будови Землі й пошуку родовищ корисних копалин, у першу чергу нафти і газу, на основі хвильового (голографічного) перетворення даних гравітаційного, магнітного та геотермічного полів у просторову 3-D модель цих полів у комплексі з геологічними та сейсмічними дослідженнями. Наведено фізичні принципи, на яких базується теорія методу та описано методику і програмний комплекс, що реалізує метод. Наведено приклади застосування голографічного методу для вивчення глибинної будови Землі, трасування розривних порушень і пошуку корисних копалин. Показано перспективи застосування даного підходу.

Практична значимість роботи в тому, що запропонована методика за бажанням може бути успішно використана як для вивчення глибинної будови Землі, так і для пошуків різноманітних родовищ корисних копалин.

Ключові слова: геофізична голографія, граві- та магніторозвідка, аномалії гравітаційного, магнітного та геотермічного полів, комплексна інтерпретація геолого-геофізичних матеріалів.

Вступ. Хвильовий підхід, започаткований роботами Клаербоута і Тимошина в сейсморозвідці, знайшов також своє наукове і практичне застосування під час геологорозвідувальних робіт, що поклало початок розвитку голографічного напрямку в обробці та інтерпретації сейсмічних полів.

Ідея Клаербоута (Клаербоут, 1989) про використання хвильового рівняння для вирішення задач сейсморозвідки спершу не сприймалася науковою спільнотою. Ю. Тимошин, якому належить переклад роботи Клаербоута, запропонував ще в 1960 р. новий метод імпульсної сейсмічної голографії на основі дифракційного перетворення сейсмічних записів у зображення геологічного середовища. Його ідея також була настільки новаторською, що взагалі не сприймалася більшістю геофізиків протягом тривалого часу. Під керівництвом і за активної участі Ю.В. Тимошина його учнями проводилися дослідження з питань розширення математичної моделі хвильового процесу в сейсмічній голографії з урахування анізотропії, частотної дисперсії й поглинання, була розроблена теорія створення сейсмічних зображень складнопобудованих сейсмічних середовищ, проводилися дослідження в напрямі сейсмічної томографії. Розроблено принципів алгоритми нового – дифракційного або хвильового її варіанта.

Як відомо, найбільш поширеними є методи просторової сейсморозвідки, один з яких здійснюється за рахунок кореляційної ув'язки спостережуваного поля пружних хвиль з глибинними горизонтами земних надр і задовольняє вимогам голографічного перетворення, і другий, який у своїй основі побудований на використанні хвильового продовження поля пружних хвиль за рівняннями Клаербоута (Клаербоут, 1989). Обидва способи вимагали збудження пружних коливань вибуховими або невибуховими сейсмічними джерелами, розташованими на сейсмічних профілях (або в проміжку між ними), із переміщенням їх із кроком, який враховує каналність станцій, кратність перекриття та відстань між приймачами і цим забезпечує підвищення продуктивності праці та розширення можливостей досліджень. Недоліком означених способів є висока вартість польових робіт, яка пов'язана з необхідністю буріння свердловин для розташування вибухових

речовин під зоною малих швидкостей (ЗМС) або використання невибухових джерел (вібрисейсів або сейсмомодін), відстрілювання мережі розвідувальних профілів (3-D) з відповідним значним нанесенням шкоди екологічному стану природи та сільському господарству. Сейсмічні дослідження вимагають знання швидкостей у районі робіт, характеризуються великим обсягом матеріалів обробки та інтерпретації сейсмограм. На їхній основі проводилось виявлення і трасування тектонічних розломів, зон тріщинуватості та різноманітних структур земної кори і подальший комплексний прогноз можливої наявності родовищ корисних копалин на глибині. Тривалий час основні обсяги пошуково-розвідувальних робіт випадали на сейсморозвідку, тоді як допомога інших геофізичних методів залишалася незначною.

Не виключено, що роботи Ю.В. Тимошина в лабораторії імпульсної сейсмічної голографії (КГВ УкрНДГРІ) надали ідею для застосування хвильового підходу до потенціальних полів Я.Б. Сігалову. Адже, ще в 50–70-ті рр. теорія аналітичного продовження потенціальних полів та її практичне використання для розв'язання геофізичних задач розроблялися багатьма вченими – Лаврентьевим, Івановим, Тихоновим, Страховим, Барановим (Баранов, та ін., 1980). У ці ж роки визначилася роль аналітичного продовження як засобу виявлення і локалізації об'єктів, що збуджують нормальні геофізичні поля під час геологічного картування, пошуків і розвідки різних родовищ корисних копалин. З великої кількості робіт, у яких пропонуються різноманітні наближені прийоми для розв'язання таких задач, виділяються роботи М.А. Алексідзе та П.Н. Вабишевича, у яких використовуються різні методи продовження поля. Тим не менше суттєвий прогрес гальмувався проблемами регуляризації при продовженні потенціальних полів через маси геологічних об'єктів.

Найбільш близьким за технічною суттю до способу, що нами застосовується, є спосіб гравітаційної або магнітної голографічної візуалізації векторних або тензорних даних, в якому отримують зображення земних надр на основі міграційних перетворень потенціальних полів як особливої форми продовження в нижній півпростір, коли для візуалізації джерел полів у нижньому

півпросторі використовують уявні дзеркальні відображення у верхньому півпросторі від істинних джерел нижнього півпростору з подальшою міграцією (продовженням) полів у верхній півпростір, що є фактично, на думку його автора М. Жданова, тотожним продовженню полів за рівнянням Лапласа у верхній півпростір для реальних джерел. За цими даними будують розрізи та отримують просторову модель геологічного середовища. Недоліком такого підходу є те, що спосіб не забезпечує задовільної деталізації будови геологічного середовища, оскільки використання рівняння Лапласа, на нашу думку, дозволяє візуалізувати лише окремі сингулярні точки, які становлять окремі фрагменти реальних геологічних структур.

Автори даної роботи свої дослідження базують на методі геофізичної голографії, основу якого закладено Я.Б. Сігаловим та М.І. Андрашко в роботі (*Сігалов и Андрашко, 1989*). Перша програма для 2-D варіанта алгоритму була розроблена і випробувана експериментально Л.М. Вольдман з використанням обчислювальних машин серії ЕС. Подальший розвиток обчислювальних алгоритмів і розробка програмного комплексу для персональних комп'ютерів була здійснена канд. фіз.-мат. наук А. Гейхманом. Основи геологічної інтерпретації отриманих результатів були запропоновані М. Баньковським. В останній час методика використовувалась в Інституті геологічних наук НАН України в під керівництвом канд. геол.-мінерал. наук І.С. Потапчука, який, на превеликий жаль, відійшов у вічність.

В основу нашого підходу було покладено завдання створення способу розрахунку аномалій гравітаційного, магнітного та інших полів у нижньому півпросторі, обумовлених зонами розушільнень та ущільнень гірських порід у глибинних геологічних структурах надр Землі, зображення яких має бути максимально імовірно близьким до реальної будови геологічного середовища та його моделей, отриманих іншими методами.

Хвильовий аналог для продовження потенціальних полів у верхній або нижній півпросторі реалізовано та вдосконалено А.М. Гейхманом у вигляді пакету програм у тривимірному (3-D) варіанті.

Математичною моделлю, що породжує ітераційний процес, взята диференціальна задача, яка описує продовження хвильового поля:

$$2 \sum_i \omega_{x_i} \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial x_i} + \Delta \omega \frac{\partial U}{\partial t} = \Delta U + f \text{ в } D \quad (1)$$

$$UX_1, X_2, X_3, 0, t = g_{TP}(X_1, X_2), 0 \leq X_i \leq a_i;$$

$$U(X_1, X_2, X_3, t = t^*) = 0, t \leq t^*.$$

Для простоти викладу розглядається двовимірний варіант. При заданні g_{TP} на складному рельєфі вводиться заміна змінних

$$Y = Y = \frac{z_0 - x_3}{z_0 - \xi(x_1)};$$

тут $x_3 = \xi(x_1)$ – функція, що описує рельєф, $z_0 = \text{const}$.

Тоді початкове рівняння (1) при $\omega_{x_1} = \omega_{x_2} = 0$ набуває вигляду

$$\frac{2\omega_{x_3}}{\xi(x_1) - z_0} \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial y} + \Delta \omega \frac{\partial U}{\partial t} \equiv \frac{1}{[\xi_1(x) - z_0]^2} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Деталі теорії викладено в роботі (*Сігалов и Андрашко, 1989*). Наведені формули є суттю кінцево-різницевої апроксимації моделі геофізичної голографії. Основна

суть методу полягає в тому, що некоректна задача аналітичного продовження в нижній півпростір заданих даних на поверхні (або на двох рівнях) потенціальних полів здійснюється не за допомогою еліптичного диференціального рівняння, а за допомогою ітераційного процесу, побудованого на основі використання трансформанти хвильового рівняння (1), причому доводиться, що в смузі аналітичності таке рішення сходиться до точного розв'язку рівняння Пуассона. Тут змінна фіктивного часу використовується для ітераційного розв'язання задачі Діріхле. За латеральними змінними використовується розкладання в спектр за допомогою перетворення Фур'є. Для продовження в нижній півпростір використовують кінцево-різницевий оператор, усталеність якого доведена за допомогою математичного апарата Самарського. Таким чином, для розв'язання задачі задіяно потужні математичні апарати: ітераційний, спектральний, кінцево-різницевий. Подальша смугова фільтрація дозволяє налаштовуватися як на визначені розміри об'єктів, так і на різноманітні глибини.

Отже, поставлене завдання вирішується так: здійснюється розрахунок продовження даних потенціальних полів у верхній півпростір із точок спостереження за рівнянням Лапласа в гармоніках Фур'є в частотному діапазоні на мережі профілів тільки на один або декілька рівнів угору. Після чого здійснюють продовження кожної гармоніки Фур'є потенціальних полів у нижній півпростір з кожних попередніх двох рівнів за рівнянням Пуассона в частотній області на один рівень униз за допомогою фокусувальної міграції аномальних полів з використанням модифікованого 15-градусного хвильового рівняння Клаербоута. Далі проводять подальшу керовану міграцію чергових двох попередніх рівнів міграційних полів для отримання наступного нижнього рівня аж до потрібної глибини дослідження за умови зрізання високочастотних гармонік за значного перевищення ними першопочаткових величин потенціального поля у спектрі спостережених аномалій. Розраховують системи зрізів і взаємоперпендикулярних вертикальних розрізів на субширотних, субмеридіональних і довільного напрямку профілях, виконують смугові фільтрації у змінних прямокутних вікнах з кожного профілю, будують розрізи потенціальних полів з нанесенням на них даних сейсмічних та інших геолого-геофізичних методів. Після чого виділяють на отриманих розрізах зони ущільнення та розушільнення геологічних структур і тектонічні порушення, будують глибинні карти гіпсометрії підземних геологічних структур для одного або декількох горизонтів та інтерпретують результати проведених досліджень за всім комплексом геолого-геофізичних даних.

Для реалізації методики в попередні роки складено пакет дослідницьких програм, за яким проводять обробку геолого-геофізичних матеріалів у діалоговому режимі. Склад програмного пакета для обробки площових спостережень такий: 1. Програма конвертер із формату системи SURFER у формат системи обробки; 2. Інтерполяційна програма на ділянках вихідної матриці, де не було спостережень; 3. Програма згладжування вихідних даних; 4. Програма обчислення регуляризованої матриці похідних; 5. Програма побудови другого прошарку над першим; 6. Програма двократного просторового швидкого перетворення Фур'є для вихідних прошарків; 7. Програма продовження поля в нижній або верхній півпростір; 8. Блок програм аналізу, перетворення, візуалізації, фільтрації, характеристик спектра поля; 9. Програма оберненого перетворення Фур'є для тривимірної продовженої матриці; 10. Блок програм, що дозволяють виділити вертикальні розрізи в різноманітних

напрямок (слом профілі, горизонтальні зрізи та ін.); 11. Блок програм двовимірної фільтрації отриманих результатів; 12. Програма тривимірної й псевдотривимірної фільтрації продовженого поля; 13. Блок програм фільтрації по осі Z; 14. Програма конвертер двовимірних матриць у формат системи SURFER.

Продовжені в нижній півпростір і перетворені в розрізи потенціальних полів дані варто трактувати як деякі формальні операції, що дозволяють локалізувати імовірне місце розташування джерел, знак джерел і в багатьох випадках їхню форму і приблизний розмір. Гравітаційні ефекти від окремих структур можна уявити у вигляді хвиль різної амплітуди і довжини, виділити хвилі, характерні для даної структури, і тим самим виявити відповідну структуру. Припускається, що протяжні, віддалені структури викликають хвилі великої довжини і, як правило, малої амплітуди. Близькі малі структури, навпаки, дають короткі хвилі великої амплітуди і з великими градієнтами аномалій. Оскільки точність гравіметричної зйомки обмежена, інформації про глибинні й малоінтенсивні об'єкти може і не бути. Тому на розрізах на великій глибині можуть бути виявлені лише великі за розмірами і контрастні об'єкти. Такі об'єкти будуть пов'язані з більш низькими просторовими частотами (хвильовими числами). Як правило, гравітаційне аномальне поле розділяють на дві складові, викликані близькими локальними і далекими протяжними структурами. Як відомо, усі методи виділення аномальних полів засновані або на прямому усередненні, або на використанні більш високих похідних потенціалу. При усередненні аномалій зникають дрібні деталі й виступають явно значні (регіональні) риси будови поля і відповідно густинної неоднорідності. Очевидно, якщо з аномалій сили тяжіння в кожній конкретній точці детальної карти відняти аномалію, усереднену за деякою площею, то в залишкових аномаліях буде чіткіше виявлятися характер локальних неоднорідностей.

Раніше як синонім до терміна "методика геофізичної голографії" автори використовували абревіатуру МКЕКФ (методика квазіекстремумів квадратичного функціоналу) за аналогією з розвиненим В.М. Березкіним методом квазіособих точок. Однак термін "квазіекстремум" не повністю відображає сутність підходу, і сьогодні автори цей термін у своїх роботах не використовують.

Беремо також до уваги, що нині слід вважати експериментально доведеним фактом, що поширення гравітаційної енергії має хвильову природу. Будемо припускати також, що гравітаційна хвиля, в усякому разі в літосфері та у верхніх шарах мантії, розповсюджується з постійною або майже постійною швидкістю. Пояснимо ідею методу таким чином.

Щоб було більш зрозуміло схему розповсюдження хвиль, уявімо однорідне постійної щільності кінцевих розмірів двовимірне (для простоти) середовище (напівплощину), на поверхні якого розташовані гравіметри, де кожен гравіметр породжує одну "гравітрасу". У геологічному середовищі на певних глибинах у визначений момент одночасно включаються дискретні надлишкові маси. Сигнал від найближчої до поверхні маси буде прийнятий гравіметрами першим. Його інтенсивність буде максимальною, а діаметр півкола, прийнятого гравіметрами від перших надходжень сигналу (тобто маємо аналог сейсмічного годографа), – мінімальний. Для наступного за глибиною джерела інтенсивність буде трохи нижче, а діаметр півкола більше. Продовжуючи цей процес, ми отримаємо набір рознесених за часом перших надходжень імпульсних сигналів від гравітаційних джерел. Швидкість поширення

гравітаційних хвиль принципово не важлива, оскільки вона буде однозначно пов'язана із часом надходжень цих хвиль і зміна швидкості призведе тільки до трансформаційних змін величини часового дискрета, тому ми можемо припустити, що гравітаційні хвилі поширюються з постійною швидкістю (або принаймні з майже постійною) у будь-якому середовищі, яке існує в корі й верхній мантії. Якщо ця швидкість вважається константою, то її величина неістотно й її можна прийняти будь-якою або навіть одиничною. Якщо на отримані гравіметричні "годографи" ми навісимо сигнал, то отримаємо повний аналог сейсмограми або часового розрізу з одноразовим накопиченням. Цього достатньо, оскільки припускається, що гравітаційні хвилі не відбиваються і не породжують кратних хвиль, тобто "гравіграма" складається тільки з прямих хвиль від гравітаційних джерел і містить менше шуму, ніж сейсмограма. Єдина суттєва відмінність такої "гравіграми" від сейсмограми полягає в тому, що на сейсмограмах ми фіксуємо подвійні часи надходжень хвиль, а на "гравіграмі" – одинарні. Далі, для побудови зображення використовується 15-градусне різняння Клербоута, реалізоване за кінцево-різницевою або спектрально-різницевою схемою. Ці схеми є умовно коректні, що доведено методами, розвиненими математиком Самарським. Досвід використання комплексу програм, складених за цим алгоритмом, показує, що крок продовження оптимально брати рівним половині кроку спостереження, і оптимальна глибина продовження має бути близько 60 точок глибини продовження. Тобто для зйомки 1 : 200 000 оптимальна глибина продовження – 60 км, для зйомки 1 : 100 000 – 30 км, 1 : 50 000 – 15 км, 1 : 20 000 – 6 км, 1 : 10 000 – 3 км.

Залишається питання, як практично з однієї кривої отримати в кожній точці спостереження цілу трасу. Найпростіший спосіб – розкласти криву на суму півкіл різної інтенсивності й різного радіуса. Однак за великої кількості джерел таке розкладання стає неоднозначним і нестійким, тобто некоректним за Адамаром. У реальності ж використовуються алгоритми, які будують тимчасову трасу пошарово в процесі продовження.

Отримані глибинні гравітаційні розрізи зіставляють із сейсмічними глибинними розрізами, якщо такі присутні, у вигляді накладок. На розрізах виділяють гравітаційні комплекси за знаком і конфігурацією аномалій і корелюють їх за розрахунковими профілями. У кожному комплексі через центри високоградієнтних зон проводять лінії, яким присвоюють назви горизонтів. Тектонічні порушення виділяють за сукупністю різноманітних ознак: за зсувом центрів аномалій у кожному комплексі, за появою інтенсивних аномалій, що обривають межі простежування. Стратиграфічна належність гравітаційних комплексів і горизонтів визначається на основі їхнього зіставлення з даними буріння (геофізичних досліджень свердловин (ГДС)) і з використанням даних усіх інших геолого-геофізичних методів. Ув'язку глибин стратиграфічних комплексів здійснюють за системою замкнених полігонів, утворених регулярно мережею розрахункових профілів. Значення глибин горизонтів на ув'язаних полігонах виносять на схему розташування профілів, де проводять ізогіпси і будують структурні карти рельєфу виділеного горизонту. Як правило, результати сейсмічних досліджень описують відбивну спроможність середовища, яка залежить не тільки від густини, але й від деформаційних характеристик і пружності (коефіцієнтів Ляме і Пуассона). Лінія зміни значень коефіцієнтів пружності за незмінної густини виділяється на сейсмічному розрізі у вигляді сейсмічної межі. На гравітаційних розрізах цей факт

може не виявлятися. Можлива також ситуація, коли збільшення або зменшення густини з глибиною відбувається поступово (рівномірно). У цьому випадку сейсмічні відбиття можуть і не існувати. Проте центри ущільнень і розуцільнень можна одержати за допомогою методики КЕКФ.

Під час побудови сейсмічних розрізів у глибинному масштабі, як відомо, істотне значення має точність визначення сейсмічних швидкостей. Використання ж не цілком точних швидкостей призводить до істотного викривлення просторового положення сейсмічних горизонтів і навіть до їхнього руйнування. Під час побудови гравітаційних розрізів швидкості не використовуються, хоча на результат продовження можуть впливати інші керуючі параметри системи обробки. Свої перешкоди існують і для методу геофізичної голографії. Ці завади, як показали тестові експерименти, спотворюють гравітаційні розрізи. Вони можуть призводити до викривлення форми аномалій, їхніх розмірів, рельєфу, інтенсивності і навіть, в окремих випадках, породжувати фіктивні помилкові аномалії, не обумовлені геологією середовища, хоча такі псевдоаномалії можуть, звичайно, бути і значно слабкішими за реальні. На сейсмічних розрізах, побудованих за допомогою методу спільної глибинної точки (СГТ), важко однозначно виділити малоамплітудні розломи, насуви й інші диз'юнктивні порушення. Гравітаційні розрізи несуть інформацію про такі об'єкти. Сейсмічні ж розрізи в основному несуть інформацію про просторове розташування відбивних горизонтів. Інформація про речовинний склад геологічних середовищ, отримана сейсмічними методами, не завжди достовірна. За відсутності достатньої кількості опорних свердловин у разі інтерпретації сейсмічних розрізів існує небезпека переходу з одного горизонту на інший. У деяких випадках (наявність соляних штоків, регіональних розломів, інтрузій, рифів і т. ін.) на сейсмічних розрізах можна спостерігати явища втрати кореляції опорного горизонту, тобто припинення простеження сейсмічних відбиттів на окремих ділянках розрізу. Іноді ці об'єкти можуть мати пошукове значення. На гравігеологічних розрізах такі об'єкти можуть проявлятися за своїми густинними властивостями, за якими можна спрогнозувати природу об'єкта (напр., інтенсивне розуцільнення може виявитися соляним штоком).

Недоліками більшості сейсмічних методів є також те, що вони мають обмеження на кути нахилу відбивних горизонтів, а для методу КЕКФ такого роду обмежень на кути нахилу поверхні гравітаційних джерел не існує. Крім того, найбільш сприятливою моделлю середовища для сейсмічних моделей відбитих хвиль є тонкошарувате та горизонтально-шарувате середовище з постійними фізичними властивостями в середині кожного шару. Одержати ж інформацію потенціальними методами за такої моделі середовища традиційно теоретично неможливо. Проте спільна інтерпретація всіх даних сейсмічних методів і методу КЕКФ з урахуванням даних буріння (ГДС) дає інформацію про геологічну будову середовища і фізичні властивості гірських порід, і таким чином створює основу для проведення геологічних реконструкцій. У багатьох випадках виділені об'єкти обома методами близькі за своїм положенням у просторі, за формою і за розмірами. Потрібно також мати на увазі, що необхідна довжина профіля (база профіля) для продовження потенціальних полів у нижній півпростір в разі застосування МЕКФ має бути більшою від глибини дослідження приблизно у п'ять разів.

Беручи до уваги, що фразу авторів програмного комплексу СИГМА 3D: "Можно предположить, что достаточно мощные толщи пород проявляются в аномальных полях множествами особых точек функций, их описывающих, причем эти множества имеют фрактальную структуру и допускают локализацию главных особенностей даже при больших глубинах залегания", можна доповнити припущенням, що ансамблі атомів та молекул геологічних об'єктів існують не в порожньому математичному просторі, а перебувають у фізичному середовищі пружного вакууму та взаємодіють з ним, а ми лише реєструємо цей інтегральний ефект у часі, і тому так важливо знайти такі моделі функціональних залежностей між параметрами математичного моделювання, які були б максимально наближеними до реально діючих моделей фізичних явищ, щоб не спотворювати зображення підземних структур.

Запропонований спосіб побудови голографічних зображень джерел гравітаційного поля у надрах Землі (Гейхман та Баньковський, 2018) пройшов апробацію на територіях Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) та її Північного борту, Рівнинного Криму, Західного Причорномор'я, Східного Казахстану, Західної Туркменії, Українських Карпат, а також на акваторіях Чорного та Азовського морів. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що застосування методу КЕКФ надає практичну можливість активного комплексування результатів інтерпретації даних гравіметричної зйомки з опорою на дані глибокого буріння (керн) та геофізичні дослідження свердловин (ГДС) з іншими геолого-геофізичними методами на рівні модельного зіставлення та доповнення, що дозволяє картувати в просторовому варіанті ущільнені та розуцільнені геологічні об'єкти як імовірні структури осадового чохла і кристалічного фундаменту, візуалізувати різновікові глибинні розломи і на цій підставі виділяти прогностичні об'єкти. Метод КЭКФ може застосовуватись незалежно від генезису родовищ корисних копалин. Основна умова застосування методу: контрастність фізичних властивостей геологічних об'єктів і висока точність вхідних даних.

Так, наприклад, проведений аналіз розрізів міграцій геофізичних полів за даними методу КЕКФ на території Карпат (рис. 1, 2) у межах матриці даних масштабу 1 : 200 000 (198 км x 198 км = 39 204 км²) за системою субмеридіональних і субширотних профілів із кроком 2 км показав, що в глибинному плані простежуються поверхні Мохоровичича та кристалічного фундаменту, розбиті на блоки різної глибини. Третій рівень – це рельєф поверхні Карпатського автохтону. У регіональному плані на підставі комплексної інтерпретації отриманих матеріалів за даними методу КЕКФ установлено значну розширеність земної кори до глибини 70 км і присутність у розрізі значної кількості зон розуцільнень, частина з яких не протирічить даним сейсмокаротажу та швидкісним розрізам земної кори за даними ГСЗ в Україні та за кордоном (рис. 1, 2). Аналіз розрізів потенціальних полів свідчить про наявність на глибині структури, розташування якої якісно збігається із зоною відсутності "гранітного" шару та зоною геосинклінального трогоу за схемою глибинної будови літосфери рифтової структури за В. Б. Соллогубом і А. В. Чекуновим (Соллогуб и др., 1987). У процесі зіставлення глибинних розрізів потенціальних полів з даними сейсморозвідки (ГСЗ, КМЗХ і МСГТ) підтверджується можлива наявність ранньо-протерозойського трогоу у верхній мантії, з яким можна ототожнити закартовану методом КЕКФ зону Тейссейре – Торнквіста на глибині 65–72 км на території робіт. Скидові порушення кристалічного фундаменту

практично контролюються зоною Тессейре – Торнквіста. Дослідженнями вздовж фрагмента гетраверса II в Українських Карпатах методом КЕКФ встановлено розріз

земної кори в блоках із шести-семимежевим розшаруванням кори до поверхні поділу Мохоровичича.

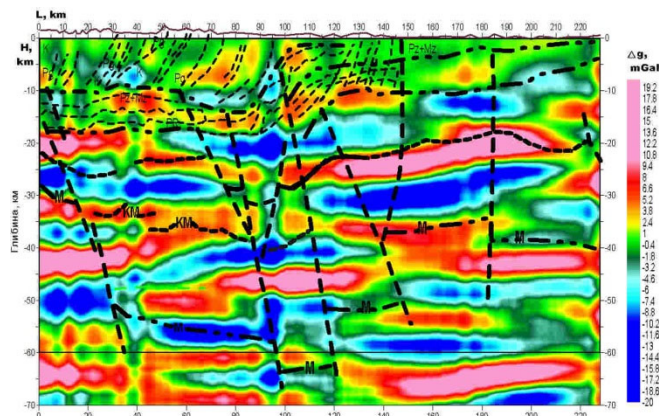


Рис. 1. Гравітаційний розріз з фрагменту геотраверса II за даними методу геофізичної голографії у зіставленні з даними ГСЗ

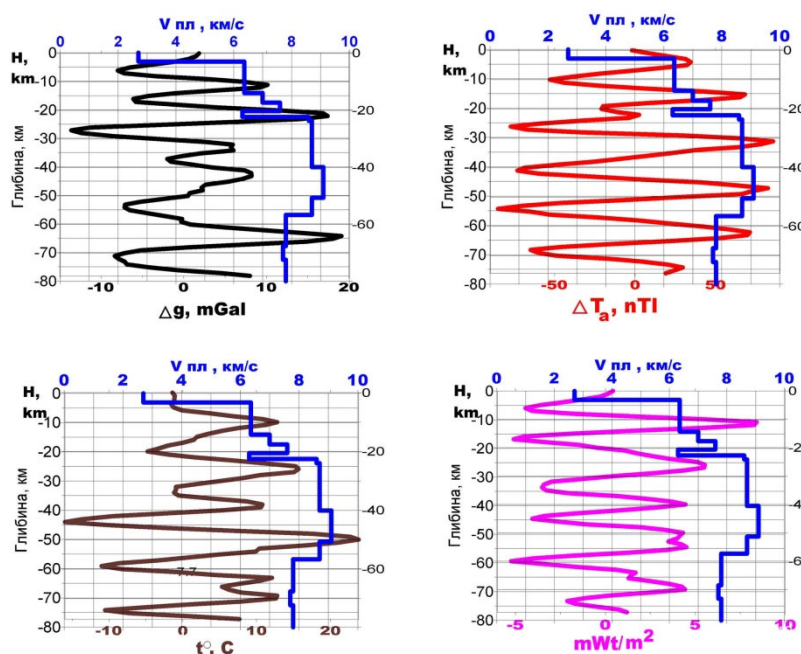


Рис. 2. Зіставлення швидкісного розрізу земної кори і верхньої мантії за даними до критичних відбитих хвиль у районі м. Карцаг (Угорщина) з даними методу геофізичної голографії за профілем 108 пк 10

Зіставлення цих даних орієнтовно і приведено для загального уявлення про складність глибинної будови. Необхідно врахувати також, що, як правило, сейсмічні швидкості в разі інтерпретації усереднюються і тоді швидкісна модель спрощується.

Аналіз проведених робіт у Карпатському регіоні показує, що не зважаючи на недосконалість методу і дрібномасштабність зйомок (а це впливає на результативність матеріалів, отриманих у результаті застосування геофізичної голографії з різними полями – гравітаційним, магнітним, температурним і теплопотоківим), глибинні розрізи в основному не суперечать результатам ГСЗ, за винятком того факту, що "контакт" між Східно- та Західноєвропейською платформами за даними ГСЗ є нахиленою, а за даними геофізичної голографії – субвертикальною зоною, що могло б свідчити про умовний поділ платформ.

Іншим прикладом застосування методики геофізичної голографії є Овруцький геодинамічний вузол, який

є епіцентром Волинської кільцевої структури (ВКС) овально-кільцевої форми із субширотною віссю до 300 км і субмеридіональною – також до 300 км. На думку Ю.П. Оровецкого, генетичною основою ВКС є Волинський мантіїний діапир. ВКС представлений Овруцькою групою негативних структур (Овруцький палеорифт, Білокоровицька і Вільчанська палеозападини). Центральну частину ВКС становить Коростенський плутон, що є складним магматичним комплексом і має субізометричну в плані форму загальною площею понад 12000 км². За методикою геофізичної голографії для підготовлених матриць даних гравіметричної та аеромагнітної (масштаб 1 : 200 000) зйомок, а також наявних даних з теплового потоку території Коростенського плутону та прилеглої Білорусі отримано голографічні розрізи відповідних полів у зіставленні з матеріалами глибинного сейсмічного зондування (Ільченко, 2002). На гравітаційному розрізі (рис. 3) простежується кореляція сейсмічних горизонтів з умовними горизонтами

градієнтних зон ущільнених і розущільнених порід як для верхньої частини розрізу, так і для верхньої мантиї – границі Мохоровичича, а також задовільна збіжність сейсмічних даних під час трасування хвилеводу знижених швидкостей із зонами розущільнення (негативних аномалій продовженого гравітаційного поля) та субвертикальних порушень як можливих зон флюїдомасоперенесення та магматичних розплавів. На інших отриманих розрізах виділяються у просторовому варіанті різноглибинні комплекси контрастних за фізичними властивостями гірських порід (ущільнені та розущільнені, намагнічені та розмагнічені, зменшеного або збільшеного теплового потоку), що дає можливість картувати їх як умовні горизонти або контактні поверхні геологічних структур у кристалічному фундаменті, трасувати різновікові глибинні тектонічні порушення як

можливі канали для міграції магматичних розплавів, рудних, флюїдних і вуглеводневих розчинів і на цій підставі локалізувати імовірні палеовулканічні споруди і прогнозувати різноманітні родовища корисних копалин, виділяти нафтогазоперспективні та флюїдопровідні зони. Необхідно врахувати також, що найбільша активність флюїдодинамічних процесів пов'язана з флюїдопровідними структурами в літосфері Землі, які формуються у вузлах перетину різнорангових глибинних розломів – геодинамічних вузлах, а з огляду геосолітонної концепції дегазації водню і утворення родовищ вуглеводнів – яка тісно пов'язана з фізичними процесами і явищами дегазації Землі взагалі. Зазначене є теоретичною передумовою перспектив нафтогазогенерації Овруцького геодинамічного вузла.

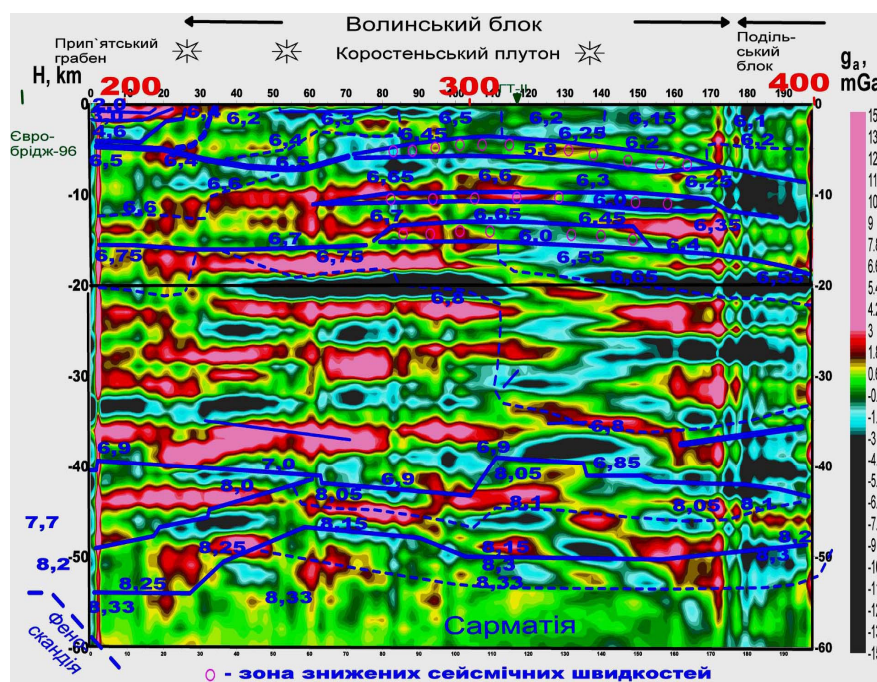


Рис. 3. Гравітаційний розріз по фрагменту геотраверса Євробридж-97 за даними методу геофізичної голографії у зіставленні з даними ГСЗ (масштаб зйомки 1 : 200 000)

Згідно з думкою С.П. Іпатенка, утворення тріщинуватості у твердих, первинно непористих породах на великих глибинах передбачається новою тектонічною концепцією – тектонікою глобального рифтогенезу (ТГР), основою на припущенні про розширення Землі як космічного тіла. ТГР передбачає, що розширення Землі приводить до одностороннього перетворення океанічної кори в континентальну шляхом утворення склепіннеподібних блоків, розділених западинами океанів, внутрішніх і крайових морів, континентальних рифтів і глибоководних жолобів. У западинах багаторазово повторюється геосінклінальний процес і спочатку формується простоконтинентальна, а потім більш зріла континентальна кора. У ТГР формування склепіннеподібних структур є провідним геологічним процесом. Під склепіннянами накопичуються більш легкі гранітзовані породи та флюїди. Вони нестійкі і розпадаються на частини по розломах, тріщинах і тріщинних зонах, які розходяться в глибину в бік мантиї. Так, на його думку, утворюються вертикальні й субвертикальні шарові й міжшарові тріщинні зони на великих глибинах у метаморфічних, магматичних та інших первинно непрониких породах.

Таким чином, як зазначають окремі дослідники, відсутність чітких уявлень про природу резервуарів у кристалічному фундаменті, їхню морфологію, особливості

розвитку та локалізації колекторів площею і в розрізі, а також відомі обмеження сейсмічних методів під час пошуків вуглеводнів у кристалічному фундаменті актуалізують необхідність розробки і впровадження нових альтернативних геофізичних методів пошуку резервуарів у кристалічних породах. Як зазначив акад. В.Б. Порфір'єв: "Нет достаточно обоснованных способов и методических решений для поисков в магматических породах геофизическими методами физических полей, которые отражали бы реальные зоны или участки развития трещиноватости (пустотности), благоприятные для аккумуляции углеводородов".

Для демонстрації можливостей і працездатності технології геофізичної голографії на предмет виявлення глибинних структур у кристалічному фундаменті нами взято родовище Білий Тигр (Whitetiger або Бак Хо) на шельфі Південно-В'єтнамського моря, яке приурочено до горстоподібного батоліту, що складається із трьох блоків – Північного, Центрального та Південного. На рис. 4 ми даємо розрізи за профілем II, отримані за дво-хвилинними даними (Bonvalot et al., 2012; Maus et al., 2007) з використанням квадратних матриць аномалій Фая гравітаційного поля та магнітного поля на висоті 5 км і даних батиметрії на майданчику розміром

9,9 км х 9,9 км. Незважаючи на дрібномасштабність геофізичних полів, накладені контури геологічного розрізу непогано вписуються в деталі продовжених полів

аж до траєкторій свердловин (пунктири), що підкоряються тектонічним порушенням.

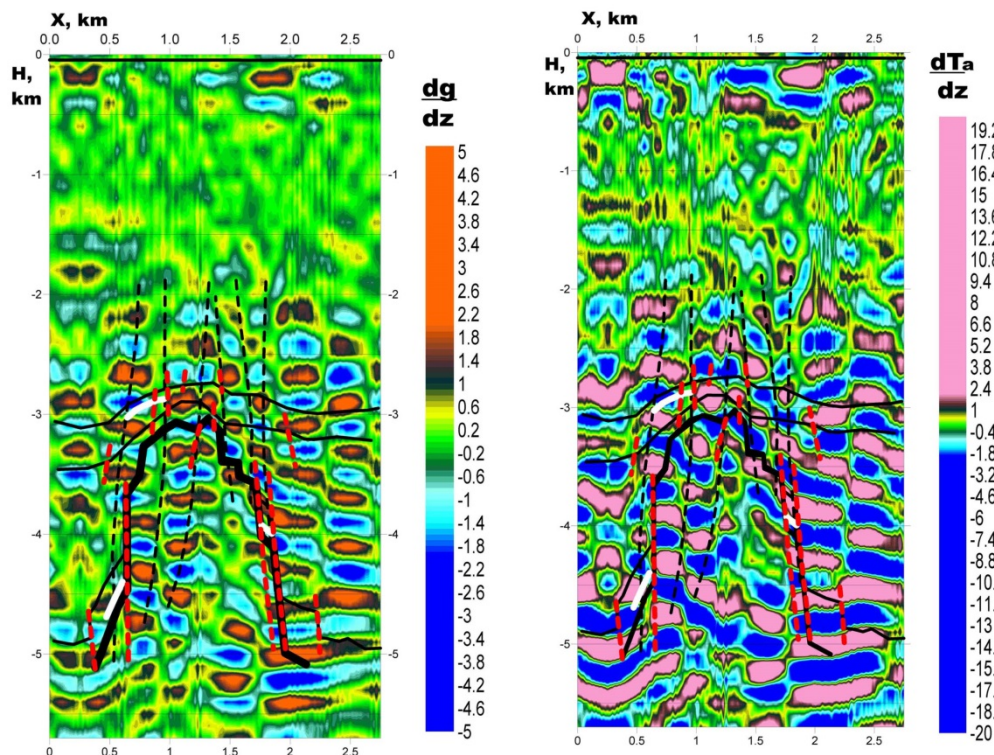


Рис. 4. Розрізи вертикальних похідних аномалій Фая (ліворуч) та магнітного поля з висоти 5 км (праворуч) з використанням двохвилинних даних по родовищу Білий Тигр у гранітах (В'єтнам)

Висновки

1. Створено систему обробки та інтерпретації гравітаційного та інших потенціальних полів за даними методу геофізичної голографії, яка включає комплекс комп'ютерних програм і методику аналізу отриманих результатів, що дозволяє побудувати найбільш вірогідну модель глибинної будови геологічного середовища за доступним комплексом геолого-геофізичних даних;

2. Пропонований спосіб побудови голографічних зображень джерел гравітаційного поля в надрах Землі застосовувався для виконання договірних і науково-дослідних робіт у державних геологічних підприємствах "Укргеофізика" (КГРЕ), "Геопрогноз", "Геоінформ", УкрДГРІ під час регіональних і середньомасштабних досліджень глибинної будови територій нафтогазоносних басейнів у процесі пошуків родовищ нафти і газу, а також в Інституті геологічних наук НАН України, адаптованого для роботи в умовах Українського щита;

3. Техніко-економічний ефект під час пошуків різноманітних родовищ корисних копалин, у тому числі нафти і газу для будь-якого регіону Землі та Світового океану, за умови виконання сучасних експресних гравіметричних наземних, аеро- або наявних супутникових зйомок може бути реалізованим за рахунок зменшення трудомістких затрат на буріння порожніх свердловин і скорочення витрат на сейсмозв'язку на етапах пошуків, розвідки та експлуатації родовищ корисних копалин і загалом дозволить знизити собівартість геологорозвідувальних робіт.

Список використаних джерел

- Баранов, В. (1980). Потенциальные поля и их трансформации в прикладной геофизике. Москва : Недра.
- Гейхман, А. М., Баньковский, М. В. (2018). Спосіб побудови голографічних зображень джерел гравітаційного поля в надрах Землі. *Патент на корисну модель № 12547*. Власник Інститут геологічних наук НАН України, Київ, 1-10.
- Ильченко, Т. В. (2002). Результат исследований методом ГСЗ геотрансекта EUROBRIDGE-97. *Геофиз. журнал*, 3, 36–50.
- Клаербоут, Д. Ф. (1989). Сейсмическое изображение недр. Москва : Недра.
- Сигалов, Я. Б., Андрашко, М. И. (1985). К решению задач аналитического продолжения потенциальных полей. Деп. в УкрНИИИТИ 27.03.85, № 623 УК-85д., Киев, 1–32.
- Соллогуб, В. Б., Чекунов, А. В., Литвиненко, И. В., Калужная, Л. Т. (1987). Литосфера центральной и восточной Европы: Геотраверсы I, II, V. Киев : Наукова думка.
- Bonvalot, S., Balmino, G., Brais, A. (2012). WGM2012_Bouger_ponc_2min.
- Maus, S., Sazonova, T., Hemant, K., Fairhead, J. D., Ravat, D. (2007). WDMAM_NGDC_V1.1.

References

- Baranov, V. (1980). Potencialnye polya i ih transformacii v prikladnoi geofizike. Moskva : Nyedra. [in Russian]
- Bonvalot, S., Balmino, G., Brais, A. (2012). WGM2012_Bouger_ponc_2min.
- Geikman, A.M., Bankovskiy, M.V. (2018). Sposib pobudovy golografichnyh zobrazen dzherel gravitaciynogo polya v nadrah Zemli. *Patent na korysnu model № 12547*. Vlasnyk Instytut geologichnyh nauk NAN Ukrainy, Kyiv, 1–10. [in Ukrainian]
- Ilchenko, T.V. (2002). Rezultat issledovaniy myetodom GSZ geotransekta EUROBRIDGE-97. *Geophys. Journal*, 3, 36–50.
- Maus, S., Sazonova, T., Hemant, K., Fairhead, J. D., Ravat, D. (2007). WDMAM_NGDC_V1.1.
- Sollogub, V.B., Chekunov, A.V., Litinenko, I.V., Kaluzhnaya, L.T. (1987). Litosphera centralnoi i vostochnoi Evropy: Geotraversy I, II, V. Kiev : Naukova dumka, 30–38. [in Russian]

Надійшла до редколегії 14.06.21

M. Bankovskyi, PhD (Geol.),
E-mail: mishbank@gmail.com;
A. Geikhman, PhD (Phys.-Math.),
E-mail: anatoigeykhman@gmail.com;
I. Potapchuk, PhD (Geol.-Min.),
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,
55, b, O. Honchara Str., Kyiv, 01601, Ukraine

APPLICATION OF THE WAVE METHOD CONTINUATION OF POTENTIAL FIELDS IN THE LOWER HALF AREA TO STUDY THE DEEP STRUCTURE OF THE EARTH AND SEARCH FOR MINERAL DEPOSITS

The paper considers a methodology for studying the deep structure of the Earth and searching for mineral deposits, primarily oil and gas, based on wave (holographic) transformation of the data of gravitational, magnetic and geothermal fields into a spatial 3D model of these fields in combination with geological and seismic studies. The paper presents the physical principles on which the theory of the method is based and describes the methodology and software package that implements the method. The examples of the application of the holographic method for studying the deep structure of the Earth, tracing faults and searching for minerals the prospects for applying this approach are shown.

The practical significance of the work lies in the fact that the proposed method, if desired, can be successfully used both for studying the deep structure of the Earth and for searching for various mineral deposits.

Keywords: geophysical holography, gravity and magnetic prospecting, anomalies of gravitational, magnetic and geothermal fields, complex interpretation of geological and geophysical materials.

М. Баньковский, канд. геол. наук,
E-mail: mishbank@gmail.com;
А. Гейхман, канд. физ.-мат. наук,
E-mail: anatoigeykhman@gmail.com;
И. Потапчук, канд. геол.-минерал. наук;
Институт геологических наук НАН Украины, ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев 54, 01601, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛНОВОГО МЕТОДА ПРОДОЛЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В НИЖНЕЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ И ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рассматривается методика исследования глубинного строения Земли и поиска месторождений полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа, на основе волнового (голографического) преобразования данных гравитационного, магнитного и геотермического полей в пространственную 3-D модель этих полей в комплексе с геологическими и сейсмическими исследованиями. Приведены физические принципы, на которых базируется теория метода, и описаны методика и программный комплекс, реализующий метод. Приведены примеры применения голографического метода для изучения глубинного строения Земли, трассировки разрывных нарушений и поиска полезных ископаемых. Показаны перспективы применения данного подхода.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенная методика при желании может быть успешно использована как для изучения глубинного строения Земли, так и для поисков различных месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: геофизическая голография, грави- и магниторазведка, аномалии гравитационного, магнитного и геотермического полей, комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.91

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.08>

Г. Рудько, д-р геол.-мінерал. наук, геогр. наук, техн. наук, проф.,
голова Державної комісії України по запасах корисних копалин,
E-mail: office@dkz.gov.ua,
вул. Ген. Алмазова (Кутузова), 18/7, кімн. 816, м. Київ, 01133, Україна

ГЕОЛОГІЯ ГРАФІТОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУТКУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. В.М. Загнітком)

Видобуток графіту та його використання в різноманітних галузях виробництва і техніки відіграє значну роль в економіці багатьох країн світу. Відмінні характеристики графіту, який є однією із поширених у природі форм вуглецю (хороша електропровідність, низька твердість, стійкість до нагрівання і до впливу агресивних середовищ), широко використовуються вченими в різних наукових розробках.

Після того, як у 2004 р. у журналі *Science* британськими дослідниками російського походження з Манчестерського університету А. Геймом і К. Новосьоловим була опублікована стаття про властивості першого дослідженого двовимірного кристалу графену, попит на графітові руди лише зростає і за деякими прогнозами до 2026 р. становитиме понад 400 млн дол США.

Лускатий природний графіт можна застосовувати в нових технологіях, таких як графен, що сьогодні використовується в різних наукових розробках, а також під час виробництва літієво-йонних батарей, у паливних елементах, в установках з виробництва ядерної та сонячної енергії тощо.

Коротко наведено геологічні умови Заваллівського графітового родовища, яке нині є основним джерелом графіту в Україні, та окреслено перспективи виявлених ділянок, що можуть стати додатковим резервом графітових руд.

Значні прогнозні ресурси графіту нових родовищ, виявлених останнім часом на території України (Буртинське, Балахівське, Сачкінсько-Троїцьке, низка нових ділянок у районі Завалля), дають можливість не тільки підтримувати на належному рівні, а й за необхідності значно розширити існуючу мінерально-сировинну базу, завдяки чому Україна може стати одним із найбільших у світі постачальників графітової продукції.

Графен має величезну механічну міцність і рекордно високу теплопровідність. Надзвичайно висока рухливість електронів у ньому робить графен перспективним матеріалом для використання в самих різних областях, зокрема, як майбутню основу наноелектроніки та можливу заміну кремнію в інтегральних мікросхемах. Наведено результати з використання унікальних властивостей графену.

Ключові слова: графіт, графітові родовища, Заваллівське родовище, графен.

Постановка проблеми. Графіт дуже широко використовується в різноманітних галузях промисловості, зокрема є необхідною сировиною (допоміжним матеріалом) у виробництві найрізноманітнішої кінцевої продукції: штучних алмазів, лужних акумуляторів і батарей, у паливних елементах хімічних джерел струму, у виробництві безшовних труб, у металообробці й куванні, для штампування та прокатки металевих виробів, у гальмівних колодках й інших фрикційних матеріалах, у графітовій фользі, прокладках і ущільнювачах, в олівцях, у виробництві термостійкої кераміки і вогнетривкої продукції, у спеціальній термостійкій гумі, для екранування у виробництві силових кабелів і зв'язку, в антикорозійних покриттях і фарбах, як добавка до розчинів під час буріння у процесі нафтогазовидобутку.

Після того, як у 2004 р. в журналі *Science* британськими дослідниками російського походження з Манчестерського університету Андрієм Геймом і Костянтином Новосьоловим була опублікована стаття про властивості першого дослідженого двовимірного кристала графену, учені всього світу вперше почули про новий матеріал, а його відкривачі в 2010 р. отримали за свій винахід Нобелівську премію. Це відкриття дало поштовх для розвитку численних наукових досліджень у багатьох галузях і сприяло виявленню нових і переорієнтації на нові напрями вже відкритих графітових родовищ по всьому світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання промислових типів руд графітових родовищ Українського щита (УЩ) у науковій літературі розглядалися А.Д. Додатком і Н.Н. Янгічером, а основні дослідження в галузі збагачення руд були проведені В.Б. Чижевським, М.В. Бондаренко, Н.С. Власовою та ін. Розробка схем і режимів збагачення графітових руд проводилась Інститутом мінеральних ресурсів

(м. Сімферополь). Технологічні дослідження збагачуваності різних типів графітових руд були виконані Заваллівським гірничо-збагачувальним комбінатом (ГЗК).

Установлено, що промислове значення руд Заваллівського родовища є вищим, ніж решти об'єктів, оскільки їхнє збагачення дозволяє отримати майже всі товарні марки графіту. Якщо враховувати, що найбільш цінним є графіт тигельний (ГТ), то за цим показником Заваллівське родовище перевищує Буртинське майже в чотири рази (Лижаченко та ін., 2013).

Значний вплив на галузь спричинили кризові явища у світовій економіці, проте на сьогодні спостерігається ремісія графітовидобувної галузі багатьох країн світу і відновлення потужностей промислових секторів, що використовують графіт. Запаси та ресурси графіту в Україні залишаються традиційно значними, вони здатні цілком забезпечити потреби вітчизняної промисловості та зайняти провідне місце на світовому ринку (Загнітко та Лижаченко, 2012).

Розглянуто методи збагачення графітових руд в Україні залежно від ступеня їхніх фізико-хімічних змін, зроблено порівняльну промислову оцінку родовищ і визначено найперспективніші для освоєння об'єкти, особливості кон'юнктури ринку графіту, що передбачає аналіз динаміки видобутку, виробництва, споживання мінеральної сировини в Україні та світі (Кропівний та ін., 2019).

Виклад основного матеріалу. Родовища кристалічного графіту в межах Українського щита (УЩ) утворюють велику графітоносну провінцію, в якій виділяють чотири графітоносні райони: Бердичівський, Побузький, Криворізький і Приазовський (Яценко, 2008). Усього на території провінції виявлено близько 100 родовищ і проявів графіту. Усі вони належать до метаморфічного типу, приуроченого до порід архею та нижнього протерозою. Глибина залягання графітових

руд – від 10 до 80 м. Поклади графіту утворюють пластові та лінзоподібні тіла потужністю до 300 м. Довжина рудних тіл – від 5 до 1500 м, інколи 3,5–5,0 км. Графіт лускуватий, із вмістом у рудах 2,5–20,0 %.

До Державного балансу запасів корисних копалин належать шість родовищ графіту (*Державний баланс запасів України, 2011*) (рис. 1). Розробляється одне родовище – Заваллівське, ділянка Південно-східна,

решта п'ять родовищ (Буртинське, Балахівське, Петрівське, Троїцьке, Маріупольське) не розробляються. На базі Заваллівського родовища діє однойменний графітовий комбінат. При проектній потужності комбінату 800 тис. т руди забезпеченість загалом розвіданими запасами становить понад 100 років, а запасами Південно-східної ділянки в межах проектних контурів розробки – 11 років.



Рис. 1. Мінерально-сировинна база графіту України

Заваллівське родовище метаморфічного типу, пов'язане з біотит-графітовими гнейсами хашувато-заваллівської світи бузької серії (неоархей), розташований на лівому березі мальовничої річки Південний Буг, за 1 км на схід від селища Завалля.

Родовище було відкрито ще на початку 20-х рр. минулого століття. Розташовано воно в густонаселеній центральній частині України. Загальна площа родовища, яке межує з Одеською та Кіровоградською областями, становить близько 50 км². Основна частина

Заваллівського родовища та виробництво графіту розмістилися в Гайворонському районі Кіровоградської області.

Рудоносні тіла являють собою крутоспадні пласти субширотного простягання. Потужність окремих тіл – від 15 до 400 м, протяжність – 3,0–4,8 км. Розробляють переважно руди з каолінізованої кори вивітрювання гнейсів – біотитів, амфібол-біотитів, біотит-хлоритів, хлорит-серицитів та ін. Графіт родовища – кристалічний, лускуватий (2–4 мм), із вмістом у руді 6–14 % (у середньому 6,5 %) (рис. 2).

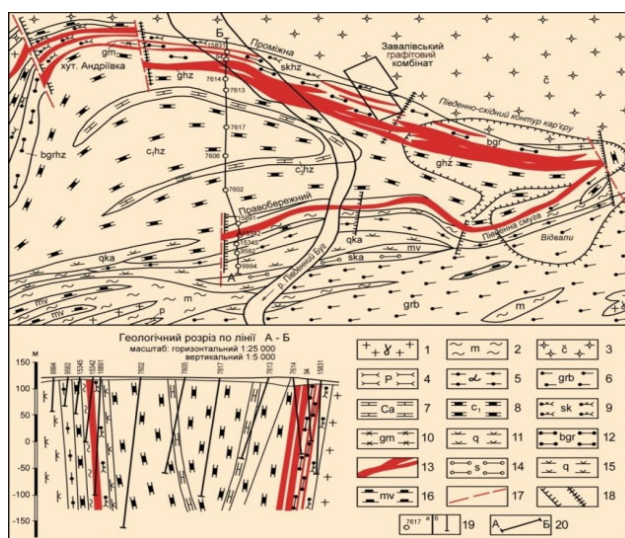


Рис. 2. Схематична карта і розріз Заваллівського родовища графіту:

- 1 – граніти бузького комплексу; 2 – мігматити; 3 – чарнокіти; 4 – гнейси піроксенові; 5 – гнейси амфіболові;
6 – гнейси гранат-біотитові дністровсько-бузької серії; 7–13 – хашувато-заваллівська світа (7 – сланці карбонатні);
8 – кальцифіри, мармури; 9 – скальні; 10 – кварцити залістисті; 11 – кварцити безрудні; 12 – гнейси біотит-гранатові;
13 – гнейси біотит-графітові (руда); 14–15 – кошаро-олександрівська світа
(14 – гнейси силіманітові; 15 – кварцити); 16 – амфіболіти та габро-амфіболіти; 17 – розломи; 18 – границі ділянок;
19 – свердловини (а – на карті; б – на розрізі); 20 – лінія розрізу

Підтверджені запаси руди – 96,6 млн т, у перерахунок на рядовий графіт – 6,1 млн т. Супутньою корисною копалиною є абразивна сировина (гранат), запаси якої оцінюють у 20,3 млн т руди або 9,7 тис. т мінералу. Родовище розробляють відкритим способом із попереднім роздрібненням свердловинними зарядами. Річний обсяг видобутку руди – близько 40 тис. т; її перероблення з випуском графітового концентрату здійснюють на збагачувальній фабриці ТОВ "Заваллівський графітовий комбінат" (Гурський та ін., 2006).

За даними Industrial Minerals (Велика Британія), ТОВ "Заваллівський графіт" входить до ТОП-10 у світі серед виробників природного графіту. Підприємство виготовляє більше 25 основних марок графіту із вмістом вуглецю від 85 до 99,5 % і розміром від 10 до 200 мкм, також колоїдно-графітові препарати і мастильно-охолоджувальні рідини на основі графіту (ТОВ "Заваллівський графіт", н.д.).

Продукція, яка пропонується Заваллівським графітовим комбінатом, відповідає вимогам державних стандартів і технічних умов і експортується в багато країн Європейського союзу (Німеччина, Франція, Бельгія, Велика Британія, Туреччина, Іспанія, Італія, Польща, Швейцарія, Чеська республіка, Румунія, Словаччина, Сербія, Болгарія, Греція, Норвегія), Азії (Японія, Корея), у країни СНД (Білорусь, Молдова), а також у США.

Технологічна лінія з виробництва графіту являє собою ланцюжок послідовно зв'язаного технологічного обладнання, апаратів і механізмів, що забезпечують процес від дроблення руди до фасування готової продукції та складування (укладання) хвостів (відходів виробництва) до хвостосховища. Остання розвідка і переоцінка запасів графіту на Заваллівському родовищі виконана у 1971–1982 рр. (Гурський та ін., 2006).

Заваллівський графіт воістину унікальний, оскільки має практично ідеальну кристалічну структуру і містить мінімальну кількість домішок, склад яких дозволяє легко видалити їх із руди. Завдяки тому, що в корі вивітрювання лусочки графіту звільнені від зрощення з іншими мінералами (розкриті), ці руди (так звані м'які) ще легше збагачуються, тому являють собою першочерговий об'єкт промислової розробки.

Розробка родовища ведеться відкритим, кар'єрним способом (глибиною 250 м). Видобувається руда – каолінізовані гнейси, в яких, крім графіту, містяться також: силіманіт, кварц, піроксен, хлорид, біотит і гранат. Пластоподібні поклади графітовмісних гнейсів – рудні смуги, що чергуються з безрудними породами (рис. 3)). Виділяються п'ять рудних смуг, шириною від 1,0 м до 80 м. Середній вміст графіту коливається залежно від ділянки родовища від 6,7 до 10,1 %. Заваллівський комбінат з виробництва продукції з графіту повністю забезпечений графітовими рудами родовища.

Пухкі й тверді руди родовища збагачуються флотацією з одержанням концентрату, який містить 86–97 % графіту високої якості й має зольність не вище 10–13 %.

Сьогодні ТОВ "Заваллівський графіт" виробляє понад 20 найменувань різних марок графіту та колоїдно-графітові препарати. Підприємство розвивається з кожним днем, обсяги виробництва постійно зростають, удосконалюється обладнання і технологічні процеси, розширюється номенклатура продукції (табл. 1).

Останнім часом на території України виявлено нові родовища зі значними прогнозними ресурсами графіту – Буртинське, Балахівське, Сачкінсько-Троїцьке, низка нових ділянок у районі Завалля (Іванців, 1972). Їхні запаси дають можливість не тільки підтримувати на належному рівні, а й за необхідності значно розширити

існуючу мінерально-сировинну базу, завдяки чому Україна може стати одним із найбільших у світі постачальників графітової продукції.



Рис. 3. Діючий кар'єр Заваллівського родовища (ТОВ "Заваллівський графіт", н.д.)

Нещодавно розвідані Балахівське і Буртинське графітові родовища значно перспективніші від раніше розвіданих Троїцького, Петрівського, Маріупольського родовищ, а за основними геолого-промисловими показниками відповідають уже освоєному Заваллівському родовищу.

Буртинське родовище розташовано в Полонському районі Хмельницької області, північніше с. Буртин. Графітовмісні породи Буртинського родовища були виявлені в 1953–1954 рр., у подальшому вивчалися під час проведення геологічної зйомки, глибинного картування. У 1981–1984 рр. Житомирською геологорозвідувальною експедицією об'єднання "Північчугреологія" були проведені загальні пошуки графіту в Північно-західній частині Українського щита. Опішковано дев'ять ділянок, найперспективнішою з яких виявилася Буртинська ділянка з прогнозними ресурсами графітової руди 423,2 млн т, графіту – 25 млн т. Протягом 1984–1988 рр. тими ж силами проведено пошуково-оцінювальні роботи на Буртинському родовищі графіту. Виявлено запаси і ресурси графітової руди за категоріями С2 і Р1 у кількості 350 млн т. У межах родовища виділено й оцінено чотири перспективні ділянки: Городнявська, Матроська, Хмельівська, Лісова. Мінеральний склад порід і руд досить однорідний: польовий шпат, кварц, графіт, біотит, серицит, каолініт, нонтроніт, монтморилоніт, хлорит, гідроксиди, гідроокисли заліза та акцесорні – сульфід, апатит, гранат, ільменіт, циркон, монацит. Графіт у рудах представлений у вигляді тонкого вкраплення, утворює лускуваті агрегати і прошарки за гнейсуватістю. У гнейсах графіт загалом розповсюджений досить рівномірно і лише інколи зустрічається у вигляді збагачених прошарків і гнізд. Шкідливі домішки в графіті відсутні або в межах допусків. Вміст графіту в усіх природних типах графітових руд змінюється від 4,4 до 11,9 %.

Рудний поклад *Хмельівської ділянки* Буртинського родовища приурочений до північно-східного крила великої Шепетівської антикліналі Волинського блока Українського щита. Займає площу 143,3 га. Основними графітовмісними породами є графіт-біотитові гнейси і мігматити. Обсяг безрудних тіл у межах рудного покладу становить 12 %. У рудній товщі виділяються три зони (зверху вниз): 1) зона повної каолінізації представлена пухкими рудами, розвиненими по всій площі родовища; потужність змінюється від 1,5 до 30 м (середня – 10 м); являють собою первинні (структурні) каоліні; 2) зона часткової каолінізації, дезінтеграції та

підвищеної тріщинуватості представлена напівпухкими рудами – сильно тріщинуватими породами і рудами, які поступово переходять у щільні породи і руди; потужність зони дезінтеграції 10–75 м (середня – 50 м);

3) щільні руди і вмісні породи, представлені непорушними вивітрюванням гнейсами і мігматитами графіт-біотитового складу. Середній вміст графітового вуглецю по всіх типах руд – 5,76 %.

Таблиця 1

**Основні марки графіту і сфери їхнього застосування від виробника
ТОВ "Заваллівський графіт" (ТОВ "Заваллівський графіт", н.д.)**

Назва графіту	Марка графіту	Сфера застосування
Графіт тигельний	ГТ-1	Виготовлення вогнетривких виробів: плавильні тиглі, склянки, пробки для ковшів, кришок, муфт, форсунок і т. д.
Графіт тигельний очищений	ГТО-94 ГТО-95 ГТО-96	Виготовлення вогнетривких виробів, графітових сальників, прокладок, виробництво окисненого графіту і т. д.
Графіт ливарний	ГЛ-1	Допоміжний матеріал для металообробної, чавуноливарної та сталеливарної промисловості. Ливарні фарби. Під час буріння свердловин у нафтогазовидобувній промисловості
Графіт для виготовлення мастил	П ГС-4	Виготовлення графітових препаратів і паст, змазок, електропровідної гуми, порошу, у порошковій металургії
Графіт елементний	ГЕ-1 ГЕ-2 ГЕ-3 ГЕ-4	Виробництво гальванічних елементів, позитивних електродів, вогнетривких виробів
Графіт елементний очищений	ГЕО-92 ГЕО-94 ГЕО-95 ГЕО-96 ГЕО-97	Виробництво періклазовуглецевих вогнетривів
Графіт олівцевий	ГК-1 ГК-2 ГК-3	Виробництво олівців
Графіт електровугільний	ЕУЗ-Е ЕУЗ-М	Виробництво вугільних електродів для електропечей та електролізерів, електрошток
Графіт акумуляторний	ГAK-1 ГAK-2 ГAK-3	Добавка для виготовлення активних мас акумуляторів і мас для графітованих виробів з кольорових металів
Графіт спеціальний малозольний	ГСМ-2	Виробництво штучних алмазів і високоякісних мастил
Препарати колоїдно-графітові сухі	С-1 С-2	Застосовуються як компоненти для приготування графітових сумішей та технологічних мастил, виготовлення хімічностійких і антикорозійних покриттів які добавки-пластифікатори у процесі таблетування, як компоненти клею для прогумованих тканин, для контактів і резисторів у радіотехніці

Городнявська ділянка Буртинського родовища розташована в Шепетівському районі Хмельницької області, південніше с. Замороження, за 1,0 км на північний схід від околиці с. Городнявка. Найближча залізнична станція розташована за 0,7 км на південний схід від Городнявської ділянки. Площа ділянки становить 66,2 га.

Городнявська ділянка є північно-західною частиною Буртинського родовища, простягається з південного сходу на північний захід на відстань до 1,8 км при ширині 0,3–1,3 км. Рудний поклад приурочений до північно-східного крила великої Шепетівської антиклінали Волинського блоку Українського кристалічного щита. Основними графітовмісними породами є графіт-біотитові гнейси і мігматити василівської світи тетерівської серії. Ширина рудного покладу в плані – 400–450 м на флангах, 500–450 м – у центральній частині ділянки, падіння північно-східне під кутом 45–75°. Об'єм безрудних тіл у межах рудного покладу становить 12 %. Рудний поклад простежений до глибини 226 м від денної поверхні.

У 1989–2004 рр. ДРГП "Північгеологія" виконала розвідку Городнявської ділянки Буртинського родовища графіту, за результатами якої ДКЗ України (протокол від 20.12.04 № 915) затверджено балансові запаси графітових руд. Розвідані запаси підготовлені до промислового освоєння.

Запаси графіту Городнявської ділянки Буртинського родовища враховані Державним балансом станом на 01.01.19 становлять: руда (тис. т) – за кат.: В – 28165,3;

С1 – 85225,6; В + С1 – 113390,9; С2 – 16586,7; позабалансові – 9372,6; графіт (тис. т) – за кат.: В – 1736; С1 – 4848,7; В + С1 – 6584,7; С2 – 898,9; позабалансові – 275,7. За розрахунками ТЕО постійних кондицій на базі детально розвіданих запасів Городнявської ділянки Буртинського родовища може бути створено потужне підприємство з річною продуктивністю з видобутку і переробки руди в обсязі 1 млн т і випуску графітового концентрату в кількості 55,9 тис. т. Строк забезпечення підприємства запасами – 130 років.

Завдяки високим якісним характеристикам та значним запасам руд Балахівське і Буртинське родовища можуть служити окремими сировинними базами нових гірничодобувних і переробних підприємств.

Крім того, руди з високим вмістом графіту виявлено на Млинківській площі в Кіровоградській області, у Середньому Побужжі виявлено сім перспективних ділянок (Дубинівська, Демов'ярська, Собатинівська, Східно-савранська, Котовська, Південнохашуватська, Шамраївська). Першочерговими завданнями згідно із Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 р. є виявлення активних запасів графіту на території Української графітоносною провінції, проведення оцінювальних робіт на вже виявлених ділянках і модернізація виробництва на Заваллівському графітовому комбінаті за рахунок випуску принципово нових дефіцитних виробів із терморозширеного та силіцирувального графіту для різних галузей промисловості, ракетно-космічної техніки тощо.

Відмінні характеристики графіту, який є одним із поширених у природі форм вуглецю (хороша електропровідність, низька твердість, стійкість до нагрівання і до впливу агресивних середовищ), широко використовуються вченими в різних наукових розробках. Графіт являє собою "стопку" із безлічі шарів графену, плоских листів з атомів вуглецю, які накладені один на одний особливим способом і зчеплені силами Ван-дер-Ваальса. За міцністю вони значно поступаються зв'язкам між атомами всередині листів графену, завдяки чому графіт легко розщеплюється на шари.

Графіт є однією з небагатьох речовин, які можуть протистояти температурі до 1000 °С, і тому буде одним із ключових компонентів нового покоління ядерних реакторів. Лускатий природний графіт можна застосовувати в нових технологіях, таких як графен, що сьогодні

використовується в різних наукових випробуваннях, а також у виробництві літєво-іонних батарей, у паливних елементах, в установках з виробництва ядерної та сонячної енергії.

Графен – двовимірний алотропний модифікація вуглецю, утворена шаром товщиною з один атом, організованим у гексагональну кристалічну решітку. Його можна уявити як площину, зріз графіту, відокремлений від об'ємного кристала (рис. 4).

Графен має величезну механічну міцність і рекордно високу теплопровідність. Надзвичайно висока рухливість електронів у ньому робить графен перспективним матеріалом для використання в самих різних областях, зокрема як майбутню основу наноелектроніки та можливу заміну кремнію в інтегральних мікросхемах.

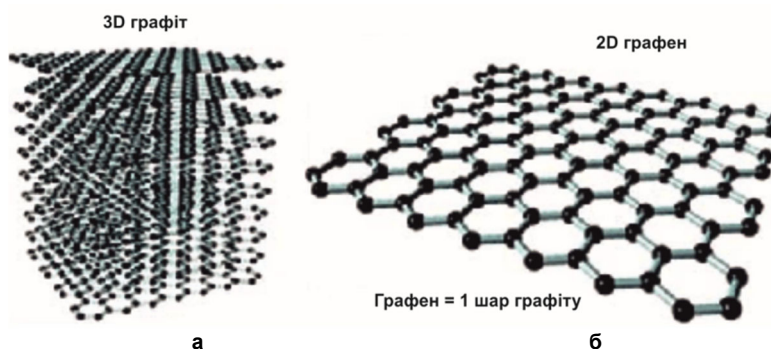


Рис. 4. Структура графіту (а) і графену (б)

Нині ще тривають численні наукові дослідження властивостей графену, але вже встановлено цілу низку унікальних:

- найміцніший матеріал (у перерахунку на одиницю товщини графен в 200 разів міцніший за сталь);
- графен можна розтягнути на 20 %, перш ніж він порветься, що неможливо навіть уявити для інших кристалів. Такі механічні властивості є результатом надзвичайно малої відстані й сильного зв'язку між атомами вуглецю. Теоретичні розрахунки показують, що "гамак" із графену розміром 1×1 м може витримати вагу до 8 кг;
- чудовий провідник електричного струму і тримає рекорд за параметром рухливості електронів за кімнатної температури (електрони рухаються в графені так, ніби в них немає маси);
- найтонший матеріал (усього лише 5 г графену достатньо, щоб повністю покрити футбольне поле);
- графен є прозорим і хімічно інертним (неабиякий потенціал для використання у найрізноманітніших сферах від електроніки до будівництва);
- за рахунок надзвичайно великої площі поверхні відносно об'єму і за рахунок високої провідності матеріалу продемонстровані на сьогодні сенсори на основі графену мають неперевершену чутливість і короткий час відгуку;
- єдиний досліджений провідник, який дозволяє робити транзистори розміром менше 10 нм і водночас залишатися стабільним за нормальних умов, а отже, у перспективі графен замінить кремній.

Згідно зі звітом, опублікованим у січні 2020 р. компанією Global Market Insights Inc., ринок графену зростає до 406 млн дол США до 2026 р. (Pulidindi and Prakash, 2019), а за деякими прогнозами до 2030 р. – до 648 млн дол США (Graphene Market, 2020) (рис. 5). Наша країна впевнено замикає сімку з оціненими річними обсягами в 15 тис. т. Основними ж споживачами залишаються промислово розвинені країни з

диверсифікованою структурою промислового сектора, як США, КНР, Японія. За оцінками статистичного бюро Statista, у 2025 р. загальна капіталізація ринку графіту досягне 27 млрд дол США.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон (АРАС) був найбільшим на ринку графену за весь історичний період (2014–2019), оскільки споживання сполуки в секторах медицини, електрики, електроніки та енергетики Китаю є досить високим. Зростає застосування графену в автомобільній та аерокосмічній промисловості країн регіону, включаючи Індію, Китай та Південну Корею.

Численні публікації у всесвітньовідомих наукових журналах і повідомлення наукових центрів та університетів свідчать про надзвичайно корисні властивості нового матеріалу, а подекуди він вже застосовується. Наприклад, дослідники з Університету Ексетера (The University of Exeter, Великобританія) (Kim et al., 2015) продемонстрували, як цей матеріал може генерувати складні й керовані звукові сигнали у разі нагрівання та охолодження, що може стати основою нового покоління аудіовізуальних технологій. Результатом відкриттів може стати можливість включення динаміків до ультратонких технологій сенсорного екрану, в яких екран здатний створювати звук самостійно.

Так, учні з Технологічного інституту Джорджії (Georgia Institute of Technology, США) виявили (Gao et al., 2018), що плівка із графену, нанесена у два шари, може захистити від кулі. Цей надлегкий і надміцний матеріал вони назвали "діаміном" і пропонують використовувати у виробництві бронежилетів. Захисні покриття на основі графену можуть бути використані для захисту екрана та корпусу пристроїв, наприклад у смартфонах, планшетах і ноутбуках.

Фахівцям з університету Сінсю (Shinshu University, Японія) і Державного університету Пенсільванії (Pennsylvania State University, США) удалося частково

розв'язати проблему фільтрації солі з морської води, зробивши цікавий спосіб опріснення води за допомогою сита з мембран, вироблених з оксиду графена (*Abraham et al., 2017*). Вони розробили гібридний фільтр, до

мембрани якого входить чистий графен, яка не руйнується у разі сильної течії і має низьку вартість у виробництві. У результаті вона відфільтровує 85 % солі, яка придатна для використання в сільському господарстві.

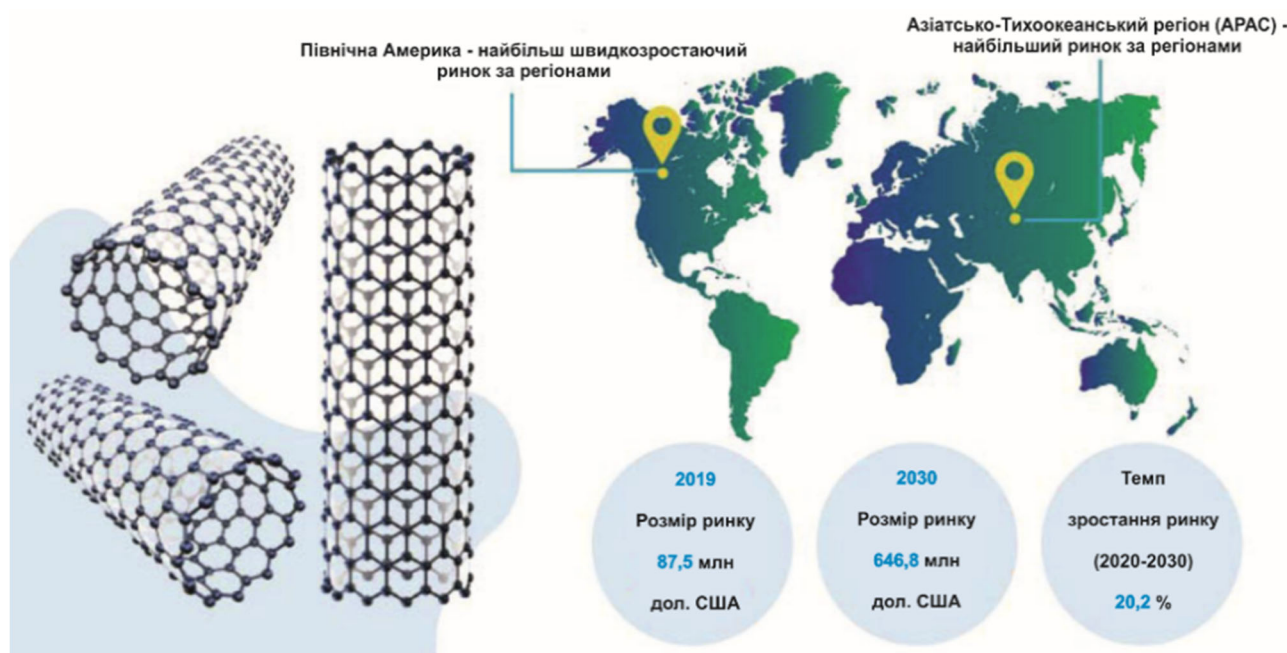


Рис. 5. Світовий ринок графену до 2030 р. (*Graphene Market, 2020*)

Команда вчених з Інституту полімерних досліджень ім. Лейбніца в Німеччині розробила графенове покриття, яке може сигналізувати фахівцям про можливе ушкодження конструкцій, наприклад мосту, простою зміною кольору (*Dengetal., 2017*). Якщо ці дослідження будуть ефективно вирішені, кольорові графенові покриття потенційно можуть стати неоціненним інструментом в арсеналі конструкторів та інженерів-конструкторів.

У грудні 2017 р. дослідники з приватного університету Райса (Rice University, США) повідомили, що їм удалось створити спортивне взуття – кросівки з графена, яке відрізняється неймовірною міцністю і зносостійкістю, водночас дуже зручне і характеризується відмінними електропровідними властивостями (*Robinson, 2017*).

Учені з Університету штату Іллінойс (Illinois State University, США) продемонстрували, як графен легко виявляє ракові клітини (*Keisham et al., 2016*). Розвиваються дослідження із застосування графену для діагностики стану здоров'я людини (*Syama and Mohanan, 2019*) (визначати температуру тіла і гідратацію людської шкіри, робити електрокардіограму, електроміографію та зчитувати електроенцефалограми для вимірювання електричної активності серця, м'язів і мозку). Роботи в цьому напрямі ще ведуться, і хто знає, може в майбутньому нас чекають ще й нові відкриття в діагностиці нашого організму за допомогою графена.

У 2016 р. китайська компанія Dongxu Optoelectronic створила акумулятор G-King (*Peleg, 2016*) з потужною ємністю 4800 мА·год, який можна повністю зарядити протягом 15 хв. Також його розробники вважають, що він може витримати 3500 циклів розрядки й зарядки, що приблизно в сім разів перевищує термін служби середньої літій-іонної батареї. Крім збільшення ефективності батарей у пристроях, графен може стати в нагоді для створення пристроїв із гнучкими екранами, різні версії яких сьогодні розробляються.

Висновки. Сьогодні одним із головних завдань інженерів стає підвищення ємності й тривалості роботи акумуляторів. У світі електрокарів і наявності Інтернету автономність пристроїв відіграватиме ключову роль у забезпеченні безперебійної роботи не просто персональних пристроїв, а й у виконанні державних функцій та в безпеці громадян. Розв'язати цю проблему в терміни, адекватні сучасним реаліям, може не лише збільшення видобутку таких елементів, як літій та нікель, а й спроба частково замінити їх "традиційними" природними елементами. Так званим "рятувальним човном" може виступити графіт, у видобутку якого наша країна точно не відстає у світових масштабах.

Виявлені на території України нові родовища зі значними прогнозними ресурсами графіту (Буртинське, Балахівське, Сачкінсько-Троїцьке та низка нових ділянок) дадуть змогу не лише підтримувати на належному рівні, а й за необхідності значно розширяти існуючу мінерально-сировинну базу, завдяки чому Україна зможе стати одним із найбільших у світі постачальників якісної графітової продукції й повною мірою реалізувати всі амбіції щодо розбудови інноваційної промисловості майбутнього.

Вкладення в дослідження графену – це вкладення в майбутнє, нехай поки і без чіткого розуміння, яким воно буде. Саме тому нині так складно спрогнозувати обсяги ринку через кілька років за поточними прогнозами, ринок графену протягом десятиліття виросте в 30–100 разів. Однак він може вирости і в тисячі разів – досить лише з'явитися розумним контактним лінзам на основі графену, запустити в серійне виробництво акумулятори, що швидко заряджаються або розробити будь-яку іншу технологію, яку сьогодні складно уявити. Так само, як колись складно було уявити, як розвинеться ринок лазерів чи комп'ютерної техніки.

Список використаних джерел

- Гурський, Д.С., Єсипчук, К.Ю., Калінін, В.І. та ін. (2006). Металічні і неметалічні корисні копалини України. Т. 2. Київ: Центр Європи.
- Державний баланс запасів України. (2011). Київ.
- Загітко, В., Лижаченко, Н. (2012). Динаміка видобування та реалізації графіту в Україні та світі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 58, 32–35.
- Іванців, О.Є. (1972). Геологія та генезис графітових родовищ України. Київ: Наукова думка.
- Кропивний, В.М., Молокост, Л.А., Кузик, О.В., Кропивна, А.А. (2019). Порівняльна промислова оцінка графітових родовищ та руд України, характеристика збагачення руд. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 1 (32), 93–102.
- Лижаченко, Н.М., Ніколаєвський, В.П., Ніколаєвський, І.В. та ін. (2013). Характеристика схем збагачення графітових руд Завалівського, Балахівського та Буртинського родовищ Українського щита. *Геол. журнал*, 2, 51–58.
- ТОВ "Заваллівський графіт" (н.д.). Отримано 12 січня 2021 із <https://zvgraphit.com.ua/about-company/>
- Яценко, В.Г. (2008). Геологія, мінералогія і генезис графіта Українського щита. Київ: Логос.
- Abraham, J., Vasu, K., Williams, C. et al. (2017). Tunable sieving of ions using graphene oxide membranes. *Nature Nanotech.*, 12, 546–550. <https://doi.org/10.1038/nnano.2017.21>
- Deng, Y., Gao, S. et al. (2017). Variable structural colouration of composite interphases. *Mater. Horiz.*, 4, 389–395. <https://doi.org/10.1039/C6MH00559D>
- Gao, Y., Cao, T., Cellini, F. et al. (2018). Ultrahard carbon film from epitaxial two-layer graphene. *Nature Nanotech.*, 13, 133–138. <https://doi.org/10.1038/s41565-017-0023-9>
- Graphene Market Research Report: By Form (Powder, Dispersion), Application (Electrical & Electronics, Composites, Energy, Biomedical) – Global Industry Analysis and Demand Forecast to 2030. (2020). Отримано 20 січня 2021 з <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/graphene-market>
- Keisham, B., Cole, A. et al. (2016). Cancer Cell Hyperactivity and Membrane Dipolarity Monitoring via Raman Mapping of Interfaced Graphene: Toward Non-Invasive Cancer Diagnostics. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8, 48, 32717–32722. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b12307>
- Kim, Y., Kim, H., Cho, Y. et al. (2015). Bright visible light emission from graphene. *Nature Nanotech.*, 10, 676–681. <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.118>
- Peleg, R. (2016). Dongxu unveils an impressive graphene-enhanced battery. Отримано 15 січня 2021 з <https://www.graphene-info.com/dongxu-unveils-impressive-graphene-enhanced-battery>
- Pulidindi, K., Prakash, A. (2019). Graphene Market Size By Product (Graphene Oxide, Graphene Nanoplatelets, Mono-layer & Bi-layer Graphene, Others), By Application (Electronics, Aerospace & Defense, Energy, Automotive, Healthcare, Others), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019–2026. Отримано 15 січня 2021 з <https://www.gminsights.com/industry-analysis/graphene-market>
- Robinson, B. (2017). Graphene at the forefront of a sports footwear revolution. Отримано 15 січня 2021 з <https://techcrunch.com/2017/12/09/graphene-running-shoes-will-hit-the-market-next-year/>
- Syama, S., Mohanan, P.V. (2019). Comprehensive Application of Graphene: Emphasis on Biomedical Concerns. *Nano-Micro Lett.*, 11, 6. <https://doi.org/10.1007/s40820-019-0237-5>

References

- Abraham, J., Vasu, K., Williams, C. et al. (2017). Tunable sieving of ions using graphene oxide membranes. *Nature Nanotech.*, 12, 546–550. <https://doi.org/10.1038/nnano.2017.21>
- Deng, Y., Gao, S. et al. (2017). Variable structural colouration of composite interphases. *Mater. Horiz.*, 4, 389–395. <https://doi.org/10.1039/C6MH00559D>
- Gao, Y., Cao, T., Cellini, F. et al. (2018). Ultrahard carbon film from epitaxial two-layer graphene. *Nature Nanotech.*, 13, 133–138. <https://doi.org/10.1038/s41565-017-0023-9>
- Graphene Market Research Report: By Form (Powder, Dispersion), Application (Electrical & Electronics, Composites, Energy, Biomedical) – Global Industry Analysis and Demand Forecast to 2030. (2020). Retrieved January, 20, 2021, from <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/graphene-market>
- Hurskiy, D.S., Yesypchuk, K.Yu., Kalinin V.I. et al. (2006). Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. V. 2. Kyiv: Tsentr Yevropy. [In Ukrainian]
- Ivantsiv, O.Ye. (1972). Geology and genesis of graphite deposits of Ukraine. Kyiv: Naukova dumka. [In Ukrainian]
- Keisham, B., Cole, A. et al. (2016). Cancer Cell Hyperactivity and Membrane Dipolarity Monitoring via Raman Mapping of Interfaced Graphene: Toward Non-Invasive Cancer Diagnostics. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8, 48, 32717–32722. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b12307>
- Kim, Y., Kim, H., Cho, Y. et al. (2015). Bright visible light emission from graphene. *Nature Nanotech.*, 10, 676–681. <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.118>
- Kropivnyi, V.M., Molokost, L.A., Kuzyk, O.V., Kropivna, A. (2019). Comparative Industrial Assessment of Graphite Deposits and Ores of Ukraine, Characteristics of Ore Enrichment. *Central ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 1(32), 93–102. [In Ukrainian]
- Lyzhachenko, N.M., Nikolaevsky, V.P., Nikolaevsky, I.V. et al. (2013). Characteristics of graphite ore enrichment schemes of Zavalivske, Balakhivske and Burtynske deposits of the Ukrainian Shield. *Geological journal*, 2, 51–58. [In Ukrainian]
- Peleg, R. (2016). Dongxu unveils an impressive graphene-enhanced battery. Retrieved January, 15, 2021, from <https://www.graphene-info.com/dongxu-unveils-impressive-graphene-enhanced-battery>
- Pulidindi, K., Prakash, A. (2019). Graphene Market Size By Product (Graphene Oxide, Graphene Nanoplatelets, Mono-layer & Bi-layer Graphene, Others), By Application (Electronics, Aerospace & Defense, Energy, Automotive, Healthcare, Others), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019–2026. Retrieved January, 15, 2021, from <https://www.gminsights.com/industry-analysis/graphene-market>
- Robinson, B. (2017). Graphene at the forefront of a sports footwear revolution. Retrieved January, 15, 2021, from <https://techcrunch.com/2017/12/09/graphene-running-shoes-will-hit-the-market-next-year/>
- State balance of reserves of Ukraine. (2011). Kyiv. [In Ukrainian]
- Syama, S., Mohanan, P.V. (2019). Comprehensive Application of Graphene: Emphasis on Biomedical Concerns. *Nano-Micro Lett.*, 11, 6. <https://doi.org/10.1007/s40820-019-0237-5>
- Yatsenko, V.H. (2008). Geology, mineralogy and genesis of graphite of the Ukrainian Shield. Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]
- Zahnitko, V., Lyzhachenko, N. (2012). Dynamics of graphite extraction and realization in Ukraine and worldwide. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 58, 32–35. [In Ukrainian]
- Zavalivskiy Graphite Ltd. (n.d.). Retrieved January, 12, 2021, from <https://zvgraphit.com.ua/about-company/>

Надійшла до редколегії 01.06.21

G. Rudko, Dr. Sci. Geol.-Min., Geogr., Techn., Prof.,
Chairman of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources,
E-mail: office@dkz.gov.ua,
18/7 Hen. Almazova Str., of. 816, Kyiv, 01133, Ukraine

GEOLOGY OF GRAPHITE DEPOSITS OF UKRAINE AND PROSPECTS OF EXTRACTION IN MODERN CONDITIONS

Extraction of graphite and its use in various spheres of production and technology play a significant role in the economies of many countries. Distinctive characteristics of graphite, which is one of the most common forms of carbon in nature (good electrical conductivity, low hardness, resistance to heat and aggressive environments), are widely used by scientists in various scientific developments.

After British researchers of Russian origin from the University of Manchester Andre Geim and Konstantin Novoselov published an article about properties of the first studied two-dimensional graphene crystal in the journal Science in 2004, and numerous studies of properties of the new material, the demand for graphite ore has been increasing, and, according to some forecasts, it will amount to more than \$ 400 million by 2026.

Natural flake graphite can be used in new technologies, such as graphene, which is now used in various scientific experiments, as well as in the production of lithium-ion batteries, fuel cells, nuclear and solar power plants.

Geological conditions of the Zavalivske graphite deposit, which is the main source of graphite in Ukraine, have been briefly presented in the paper, and perspectives of identified areas that can become an additional reserve of graphite ore have been outlined.

Significant prognosis resources of graphite in new deposits, which have been recently discovered in Ukraine (Burtynske, Balakhivske, Sachkynsko-Troitske, a number of new sites within the Zavallia area), allow not only to maintain at the appropriate level, but also, if necessary, expand existing mineral raw material base, so Ukraine could become one of the world's largest suppliers of graphite products.

Graphene has a great mechanical strength and a very high thermal conductivity. An extremely high mobility of electrons makes graphene a perspective material for the application in various fields, in particular, as a future basis for nanoelectronics and possible replacement of silicon in integrated circuits. Results on the application of unique properties of graphene have been presented.

Keywords: graphite, graphite deposits, Zavalievskiy deposit, graphene.

Г. Рудько, д-р геол.-минерал., геогр., техн. наук, проф.,
председатель Государственной комиссии Украины по запасам полезных ископаемых,
E-mail: office@dkz.gov.ua,
ул. Ген. Алмазова (Кутузова), 18/7, комн. 816, г. Киев, 01133, Украина

ГЕОЛОГИЯ ГРАФИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Добыча графита и его использование в различных отраслях производства и техники играет значительную роль в экономике многих стран мира. Отличительные характеристики графита, который является одним из самых распространенных в природе форм углерода (хорошая электропроводность, низкая твердость, устойчивость к нагреванию и воздействию агрессивных сред) широко используются учеными в различных научных разработках.

После того как в 2004 г. в журнале Science британскими исследователями российского происхождения из Манчестерского университета Андреем Геймом и Константином Новоселовым была опубликована статья о свойствах первого исследованного двумерного кристалла графена, а также многочисленных исследований свойств нового материала, спрос на графитовые руды только увеличивается и по некоторым прогнозам до 2026 г. составит более 400 млн дол США.

Чешуйчатый природный графит можно применять в новых технологиях, таких как графен, который сегодня используется в различных научных испытаниях, а также при производстве литиево-ионных батарей, в топливных элементах, в установках по производству ядерной и солнечной энергии.

В работе кратко приведены геологические условия Завальевского графитового месторождения, которое сейчас является основным источником графита в Украине, и намечены перспективы выявленных участков, которые могут стать дополнительным резервом графитовых руд.

Значительные прогнозные ресурсы графита новых месторождений, обнаруженных в последнее время на территории Украины (Буртыньское, Балаховское, Сачкинско-Троицкое, ряд новых участков в районе Завалья), дают возможность не только поддерживать на должном уровне, но и при необходимости значительно расширить существующую минерально-сырьевую базу, благодаря чему Украина может стать одним из крупнейших в мире поставщиков графитовой продукции.

Графен имеет огромную механическую прочность и рекордно высокую теплопроводность. Чрезвычайно высокая подвижность электронов в нем делает графен перспективным материалом для использования в самых различных областях, в частности, как будущую основу нанoeлектроники и возможную замену кремния в интегральных микросхемах. Приведены результаты по использованию уникальных свойств графена.

Ключевые слова: графит, графитовые месторождения, Завальевское месторождение, графен.

УДК 3.982.22:553.981.2:551.87

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.09>

V. Gurbanov,
E-mail: vaqifqurbanov@mail.ru;
N. Narimanov,
E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;
G. Nasibova
E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com
Azerbaijan State Oil and Industry University,
34, Azadlig Ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan

IMPACT OF COMPRESSIONAL STRESSES WITHIN THE SOUTH CASPIAN MEGADEPRESSION UPON EVOLUTION AND OIL AND GAS CONTENT OF LOCAL UPLIFTS

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

The following structural elements in the South Caspian megadepression (SCMD) have been considered: the interfluvium of the Kura and Gabirri, the Absheron and Baku archipelagoes, the Lower Kur depression (LKD) and the Godin massif, that stand out geodynamically, from point of view of structural and tectonic evolution and oil and gas content.

To solve this problem, the geodynamic environment of the SCMD has been analyzed based on the geodynamic chart of the Central segment of the Mediterranean folding belt compiled by the author, as well as the orientation chart of compressional stresses in the SCMD and the methodology, developed for the first time ever, for their qualitative assessment within the structural elements by means of compiling isomorph maps. The latter make it possible to determine the intensity and nature of the propagation of compressional stresses, the specifics of their impact on folding, oil and gas generation and formation of hydrocarbon accumulations.

The Kur-Gabirri interfluvium is situated in the west of the SCMD between the closely located Greater and Lesser Caucasian collisions. It is characterized by oil and gas bearing and potential sublatitudinally oriented linear folds, complicated by faulting and mud volcanism. The values of isolines of the isomorph map and their density are indicative of high intensity of the north-west oriented compressional stresses here.

The Absheron archipelago is a western element of the Absheron-Balkhan residual subduction. According to the isomorph map with a dense network of isolines of sublatitudinal orientation, the archipelago is complicated by linear folding, as well as thrusts, transverse strike-slip faults, mud volcanism, oil and gas content, and oil and gas manifestations indicating the build-up of intense compressional stresses here.

Evolution of folds within the Baku archipelago and the Lower Kur depression took place under the stresses of longitudinal and transverse bending.

The faintly pronounced linearity of the compressional stresses is apparently associated with the formation of the Western Board of the SCMD in the form of a regional submeridian uplift. It developed under the impact of compressional stresses arising from the effect of the northeastern projection of the Arabian plate on the Iranian one. LKD is an onshore extension of the Baku archipelago. Its anticline zones, regional faults, mud volcanism and oil and gas content continue in the latter.

The Godin Massif is the easternmost structural element of those considered with a faintly pronounced reflected folding of unknown prospects. Isolines of the isomorph map are not directly associated with local uplifts, which is indicative of the absence of clearly pronounced compressional stresses here.

The analysis made it possible to determine the degree of development of compressional stresses, their impact upon formation of the sedimentary section, folding, mud volcanism and oil and gas content of the considered structural elements.

Keywords: mud volcanism, compressive stresses, isomorph, Absheron archipelago, oil, gas.

Introduction. The geodynamic environment of formation of the South Caspian Megadepression (SCMD) (Fig. 1) and the map of lithospheric plates around it shows that the South Caspian basin had been one of the deep depressions of the Tethys ocean until the end of the

Miocene, located between the Iranian plate and Eurasia. The South Caspian marginal continental basin was formed as a result of convergence of the Iranian and Anatolian plates with Eurasia at the end of the Eocene (Gamkrelidze, 1982).

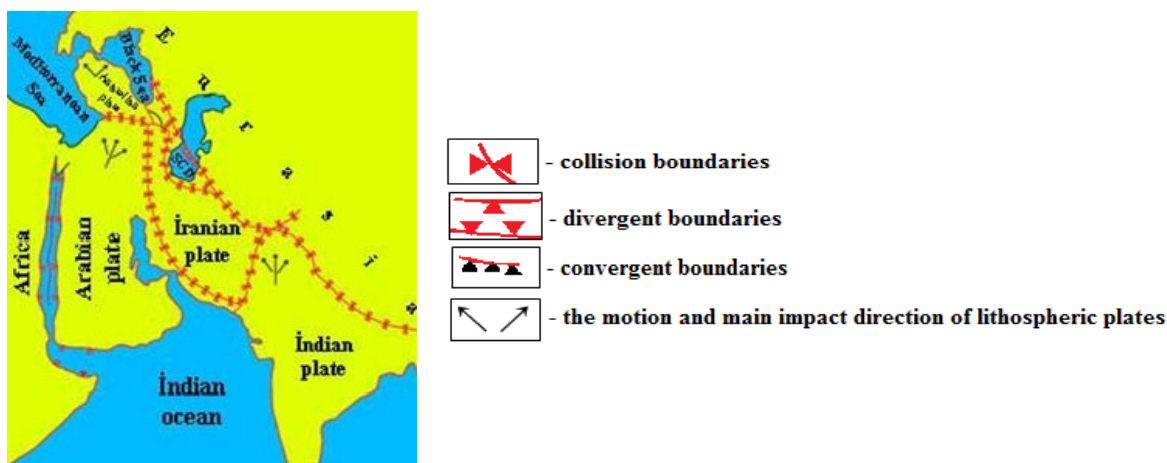


Fig. 1. The map of mutual impact of lithospheric plates in the central segment of Mediterranean Sea Belt (after N.R. Narimanov)

The Greater and the Lesser Caucasus collisions had been subjected to intensive uplift and convergence during

the Later Miocene. It was caused by formation of two subduction zones: one of them oriented northwards beneath

the Greater Caucasus, the second one – southwards, under the Lesser Caucasus (Zonenshayn et al., 1990;

Ahmedov, 1987). Such a geodynamic environment caused the SCMD to undergo intense compressional stresses.

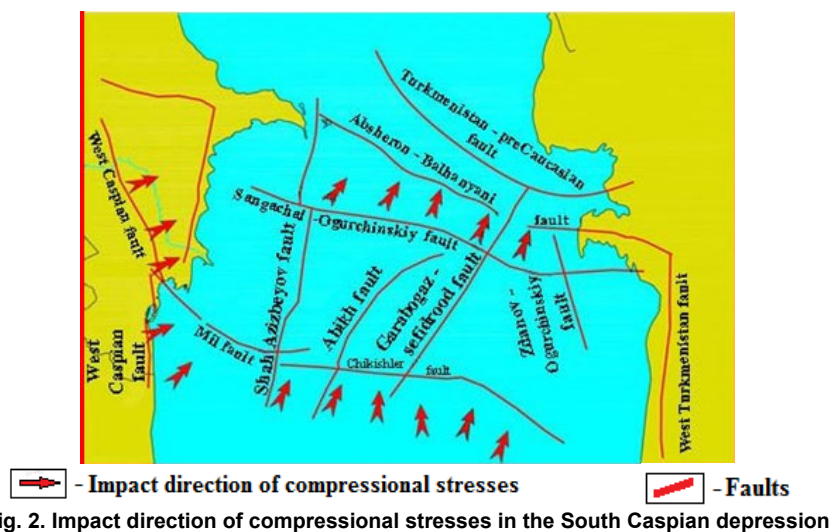


Fig. 2. Impact direction of compressional stresses in the South Caspian depression

Since the SCD is subject to compressional stresses from the south, west and north (Fig. 2), each of its structural units is under compressional stresses of varying extent, thus, local uplifts of various size and shape are formed within them as a function of the thickness of the sedimentary mantle, its lithological content, depth of the basement and other factors. Qualitative estimation of intensity and direction of impact of those stresses can be established through investigation of morphological properties and attitude of local uplifts developed within each of the SCD structural units.

Purpose. Based on the ratio of dimensions of local uplifts located within the Kur-Gabirri depression, Absheron and Baku archipelagoes, Kur depression and Turkmen shelf we attempted to qualitatively estimate and study the orientation of compressional stresses and their impact upon a series of geological processes. Isomorphic maps of the abovementioned structural units and diagrams that reflect the morphology of local uplifts have been analyzed for this purpose.

Methods. It is known that folds complicated by mud volcanoes are attributed to injection structures and they are formed within circum-Pacific mobile and Alpine-Himalayan orogenic belts where compressional stresses are widespread. As a result, during formation of diapiric folds they may be of isometric (in the absence of impact of

compressional stresses upon evolution of mud diapirs), short brachiform (during weak impact of compressional stresses upon the process of a diapir formation) and either long brachiform or linear shape (during active effect of compressional stresses upon formation of injection structures) as a function of the extent of compressional stresses. Apparently, morphology of a fold, in that case, depends on intensity of impact of compressional stresses upon the diapiric fold formation process. The developed technique for qualitative assessment of the intensity of compressional stresses is based on their significance in evolution of mud diapirs with fold morphology taken into consideration.

Solution. Since the Kur-Gabirri depression had formed in the area where the Greater and Lesser Caucasus collisions are in closest proximity to each other, compressional stresses generated there have greater significance for folding. The isomorphic map (Fig. 3) built for the structural unit under investigation shows general orientation of isolines in west-north-west – east-south-east direction, their higher density width-wise the depression and higher values (7,0–3,4), that reflect higher levels of compressional stresses in the area. The morphological chart points at absolute prevalence of long brachiforms along with their ordered arrangement in west-north-west – east-south-east direction (Fig. 3)

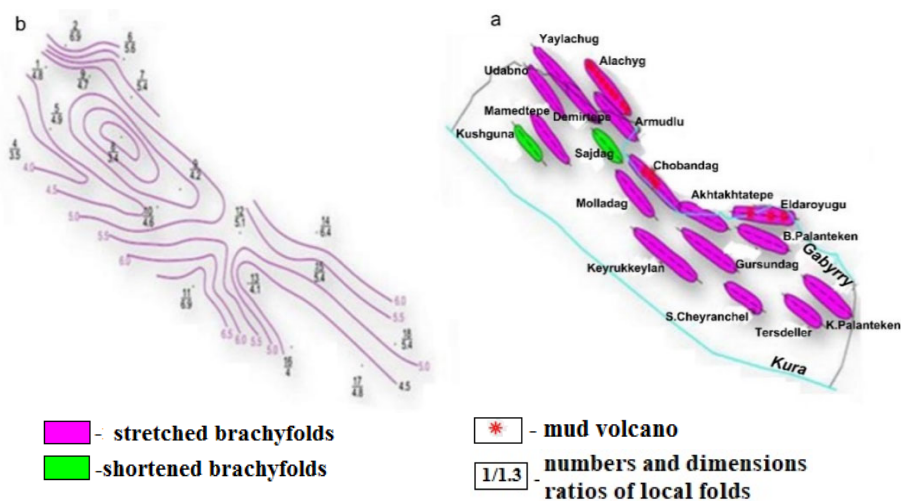


Fig. 3. Scaled morphological depiction of local uplifts of the Kura-Gabirri depression (a) and its isomorphic map (b)

Linear arrangement of numerous salsas, gryphons, mud mounds within the Kur-Gabirri depression in general Caucasian direction and their genetic linkage to overthrust faults, in particular, indicate the major role of compressional stresses in formation of these uplifts (*Rahmanov, 1995*). Extensive development of mud volcanoes of various forms and dislocations of various types, as a result of activity of compressional stresses, could, on the other hand, be estimated as a factor with a negative impact upon the oil and gas content of the Kur-Gabirri depression. However, zones of the footwall reservoir rocks (screened by hanging walls) of the large amplitude overthrusts that complicate the structural and tectonic design of the area may have preserved their oil and gas prospects. Just 2 out of 17 local uplifts of the Kur-Gabirri interfluvial depression have been complicated by mud volcanoes (Fig. 3). In spite of that over 100 salsas, gryphons and mud mounds have developed in the area (*Rahmanov, 1995*). Low number of mud volcanoes within the territory is related to a relatively small thickness (11–13 km) of the sedimentary mantle and its shale content which is not so high. It is apparent from the isomorph map of the depression (Fig. 3) that the intensity of developed compressional stresses is high enough and isoline values vary between 3,4–6,9. This

case demonstrates the general level of compressional stress background. The table of established oil and gas content for local uplifts of the structural units of the South Caspian depression gives us 3 oil-bearing local uplifts out of 17 under investigation in the depression with the rest deemed perspective (*Aliyev et al., 1984*).

From geodynamic point of view, the Absheron Ridge that makes up north-north-eastern slope of the SCD is a structural-tectonic manifestation of a non-classical subduction zone. Compressional stresses that have an impact upon the Absheron Ridge in longitudinal direction are significantly more intense than those within the SCB and despite being extension of compressional stresses of corresponding collision zones they are significantly less intense. This is caused by Kopetdag collision that takes place to the east from the Absheron relict subduction and prevents normal processes and turning it into collision. Nonetheless, the structural-tectonic layout of the zone, complication of the structural megasaddle (Absheron Ridge) by overthrusts, even by nappes and latitudinal strike-slip faults, arrangement of local uplifts in sublatitudinal direction give grounds for the statement of rather intense compressional stresses of submeridional trend (*Narimanov, 2005*) (Fig. 4).

Table

Established oil and gas content for local uplifts of the structural units of the South Caspian depression

	Number of folds	Oil and gas content				
		Oil bearing	Gas bearing	Oil and gas bearing	Perspective	Mud volcanoes
I	17	Kur-Gabyrry depression				
		3	–	–	14	2
II	51	Absheron oil and gas bearing province				
		21	4	7	19	53
III	21	Baku Archipelago oil and gas bearing province				
		3	1	3	14	13
IV	17	Lower Kur oil and gas bearing province				
		10	2	2	3	10
V	14	Godinmassif				
		–	–	–	–	1

Comparison of the isomorph maps of the areas under investigation shows that the isoline values of the Absheron isomorph map vary within a higher range (2,1–9,0) and they are denser. Formation of mud volcanoes, that are widespread in the Absheron archipelago, mainly in the structures that are located along the Absheron Ridge axis is indicative of the archipelago as a zone subject to relatively more intense stresses. There are 53 mud volcanoes on 51 structures of the Absheron archipelago, i.e. some folds have been complicated by two mud volcanoes. Variation of isoline values in the range of 2,1–9,0 shows that compressional stresses are more intense than within the Baku archipelago. As mentioned above, this is caused by the Absheron Ridge being, from geodynamic point of view, a relict subduction zone. Out of 51 folds within the archipelago 21 are oil-, 4 – gas-, 7 – oil and gas bearing, the remaining folds are considered perspective. It is obvious that 32 local uplifts of this structural unit are oil and gas bearing, the remaining 19 are prospective (*Aliyev et al., 1984*).

Compressional stresses of the following structural unit, which is being studied, that is, the Baku Archipelago (*Aliyev et al., 1984*), not only caused evolution of the local uplifts, but also a submeridionally extended regional uplift that constitutes the western slope of the South Caspian basin between the Lower Kur and the Baku Archipelago (*Narimanov, 2005*). Compressional stresses of the Baku Archipelago are of the east-north-east trend. Active longitudinal and lateral bending mechanisms exert influence

upon formation of local uplifts as brachifolds and on the density of isomorph lines. On the other hand, it should be noted that evolution of mud volcanism in any area is manifestation of presence of compressional stresses therein, since mud volcanoes are widespread within western mobile zone of the Pacific basin and the Alpine-Himalayan orogenic belt, wherein compressional stresses are widely distributed (*Rahmanov, 1995*). The structural units under investigation are located within the central segment of the Alpine-Himalayan orogenic belt, along with being constituent parts of the SCMD. In most cases areas complicated by mud volcanism are characterized, as a rule, by higher oil and gas potential.

One can come to the conclusion that compressional stress, mud volcanism and hydrocarbon content present in negative geostructural elements of regions with active geodynamic and tectonic drives are all parts of a single process. From this perspective it should be noted that 13 out of 21 local uplifts under investigation have been complicated by mud volcanoes, 3 of them are oil, 1 – gas, 3 – oil and gas bearing, the remaining ones are considered as potential structures from perspective of hydrocarbon content. Isolines values on the isomorph map representing intensity of compressional stresses within the Baku Archipelago range between 2,5–6,1 (Fig. 5).

Since the Lower Kur depression is wider than the Kur-Gabirri depression and is more distant from Greater and Lesser Caucasus and Talish collision zones, the impact of compressional stresses formed in them is weaker than that

exerted upon the Kur-Gabirri depression. The isomorphic map built for this area reflects denser isolines and mainly long brachifolds formed in the north with relatively sparse isomorphic lines and short brachiform local uplifts, what is

indicative of relatively more intense compressional stresses in the northern part of the Lower Kur depression than in the southern one (Fig. 6).

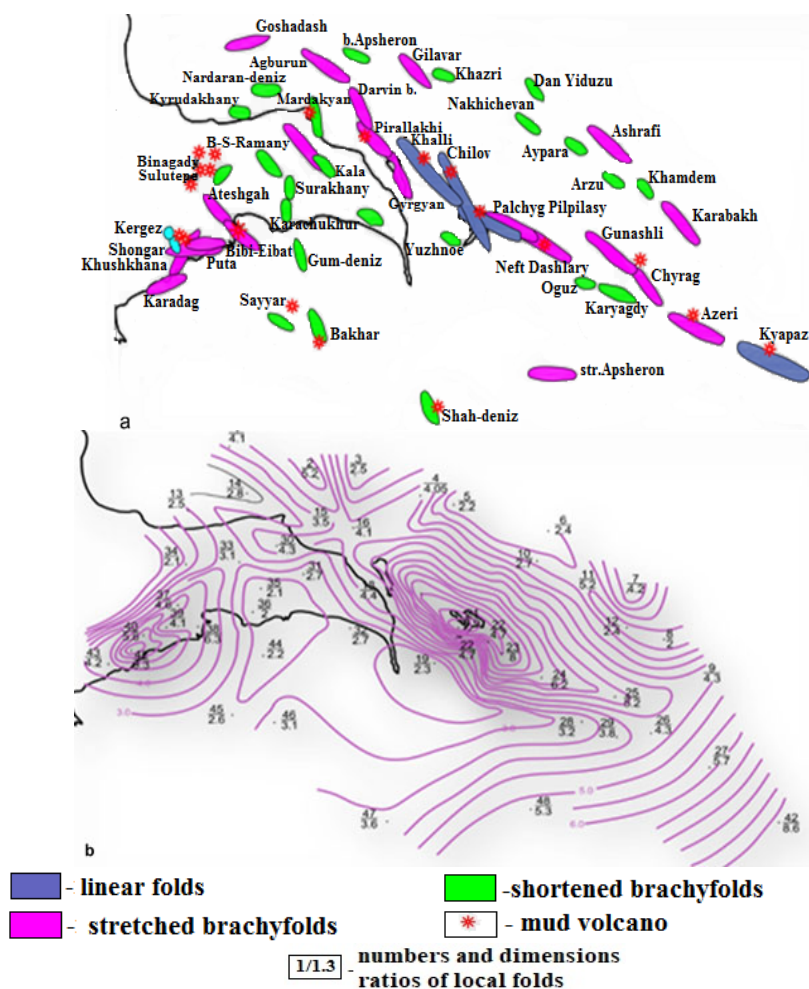


Fig. 4. Scaled morphological depiction of local uplifts of the Absheron archipelago (a) and its isomorphic map (b)

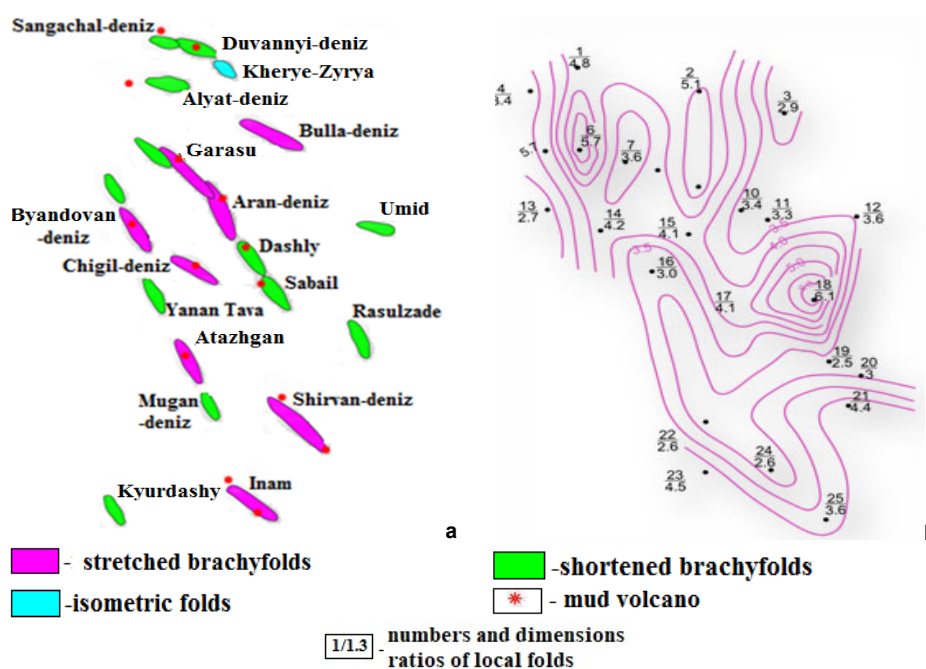


Fig. 5. Scaled morphological depiction of local uplifts of the Baku archipelago (a) and its isomorphic map (b)

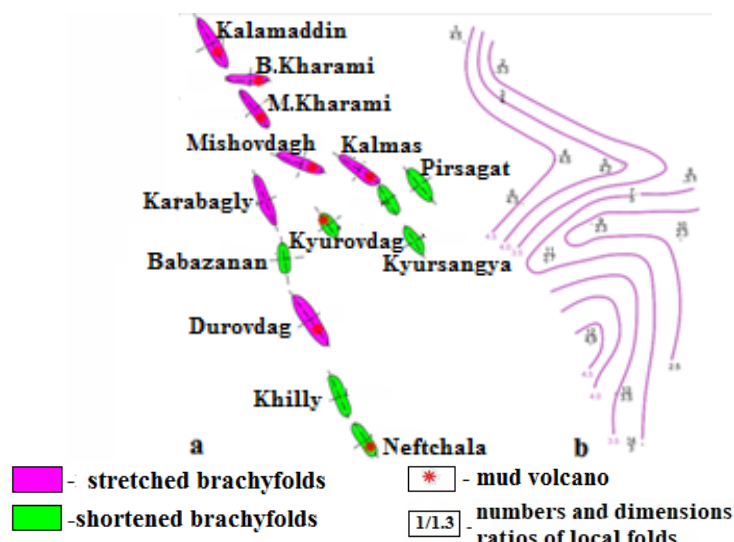


Fig. 6. Scaled morphological depiction of local uplifts of the Lower Kura depression (a) and its isomorph map (b)

Here 10 out of 15 local uplifts have been complicated by mud volcanoes, moreover, large number of salsas and gryphons have evolved in the studied area. The isomorph map (Fig. 6) built for the depression shows relatively regularly arranged isolines and their values ranging between 2,3–4,9, which serves as a sign of relatively evenly distributed compressional stresses all around the area (Fig. 6). Despite all of the mentioned above intensity of compressional stresses grows from the central part of the area towards the north. This is probably caused by contiguity of the northern part of the Lower Kur depression with the Alat-Langabiz tectonic zone, which is characterized by intense compressional stresses. Out of 17 local uplifts within this depression 10 are oil-, 2 – gas, 2 – oil and gas bearing, the remaining are considered perspective. Despite compressional stresses in the Lower Kur depression are less intense than those of the Kur-Gabirri area, presence of mud volcanoes in and greater hydrocarbon content of the former, great thickness (9–20 km) of the sedimentary cover in the depression and pelitic facies (that are the main potential source rock in the regional cross section) well-formed in the sedimentary basin, continuous subsidence of the basin floor in an uncompensated environment caused the abovementioned source rock to be buried at more favorable temperature and pressure environment.

The Godin massif that constitutes the foundation of the Turkmen shelf is a hypsometrically significantly uplifted slab of the crystalline basement and its sedimentary cover is basically represented by the Cenozoic rock complex.

One of the reasons for the Godin massif's uplifting is most probably the geostatic differential pressure generated by the sedimentary mantle upon and around the massif under conditions of compressional stresses within the SCB. High values of the differential between geostatic pressures upon the Godin massif and around it suggest influence of this difference exerted on vertical movements of the massif. The continental denudation environment of the massif lasted, basically, from Paleozoic to Upper Cretaceous. By the end of the Cretaceous its isostatic state levelled with that of the South Caspian basin floor and its evolution went on under the same paleogeographic conditions. The onset of deposition within the massif falls on the Upper Cretaceous. The thickness of the sedimentary cover here reaches 8–10 km (*Oil and gas perspectives...*, 2015), whereas moving westwards towards the central part of the SCD it is up to 25 km and above (*Mamedov et al.*, 1995). Since relatively higher hypsometric level of the crystalline basement within the Godin massif causes compressional stresses generated in the sedimentary mantle of the SCB to be screened from the Turkmen shelf, local uplifts therein have been formed by lateral bending mechanisms, they are underdeveloped, of isometric and short brachiform, have random areal arrangement and there is no regularity observed in their spatial arrangement. This case is clearly manifested by highly sparse isolines and their low values on the isomorph map created for the area (Fig. 7).

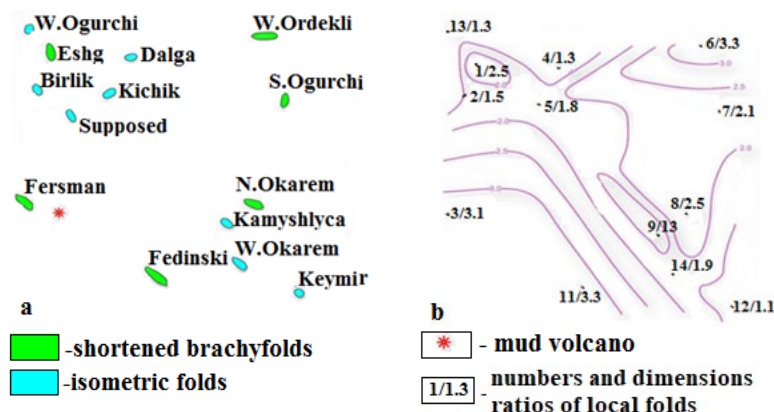


Fig. 7. Scaled morphological depiction of local uplifts of the Godin massif (a) and its isomorph map (b)

The map shows the isolines ranging between 1,3–3,3. There is nearly no mud volcanism developed on the Godin massif, but one mud volcano is associated with a deep fault in the southern edge of the massif (Lebedev, 1987). When it comes to oil and gas content of the local uplifts located on the Godin massif part of the Turkmen shelf, no hydrocarbon field has been discovered yet and this is the reason why all of the local uplifts identified on the Godin massif have been assigned to a group with unestablished oil and gas potential (*Oil and gas perspectives...*, 2015). As described above, relatively small thickness of the sedimentary cover in the area and its formation under unfavorable paleogeographic conditions, underdevelopment of compressional stresses have prevented objective appraisal of the oil and gas content of the area.

Since the occurrence of sedimentation in the environment of compressional stresses within the space surrounding the massif had had a positive effect on its rate, increase of the geostatic pressure caused the graben-shaped basin floor to subside more rapidly (Narimanov, 2005). With the exception of the Godin massif of the Turkmen shelf, these circumstances intensified compressional stresses even more and, thus, plicated dislocation taking place due to the mainly longitudinal bending mechanism in the sedimentary cover.

Continuous evolution and plate convergence of the Greater and Lesser Caucasus collisions causes increasing compressional stresses all along the slopes of the South Caspian megadepression. Subjection of the narrow north-western part of the Iranian plate to bending deformation enabled formation of the western slope of the South Caspian depression and, in this connection, its geographic isolation from the Kur depression (Narimanov, 2005).

Great thickness (over 14 km) of the predominantly shaly Miocene-Quaternary sediments in the South Caspian depression in presence of compressional stresses prepared the ground for the formation of diapir type structures, majority of which have been complicated by mud volcanoes. This is the reason why, excepting the Godin massif, the folding process in the Oligocene-Pliocene sediments takes place due to compression of rheologically active Oligocene-Miocene sediments against cores of the folds developed in the underlying strata. The onset of the evolution of the majority of local uplifts of the Baku and Absheron archipelagos and the pre-Alborz depression no later than by the end of Miocene is known. From this aspect, 2500-3000 m thick middle and upper Miocene sediments of the Baku Archipelago generated the geostatic pressure necessary to trigger there the lateral bending mechanism. Nonetheless, most of the folds developed in the sedimentary cover of the archipelago are long and short brachyfolids, what is indicative of the longitudinal bending mechanism, even more intense than the lateral bending mechanism, taking part in their formation. This was caused by rheologically relatively active Oligocene-Quaternary sediments and intensification of compressional stresses during the same geologic time span. The Baku archipelago being an example, shows the varying rate of folding processes, generally increasing as a function of time. This case can be observed from the changing evolution rate during geologic time span of a series of folds of the Baku archipelago (Narimanov, 2005).

The studied local uplifts of the Baku Archipelago are syndepositional, which is very typical of diapir type structures. Nevertheless, it should be noted, that the rate of the fold development was varying. While the rate of evolution in the Pliocene increased from the north-west to the south-east, in the Quaternary it sharply goes up from the south-east to the north-west. This is associated with distribution

properties of compressional stresses within the Baku Archipelago abundant in mud volcanoes and shows their attenuation southwards (Narimanov, 2005).

Variations in the rate of evolution of local uplifts during the geological time span under consideration are typical for the other structural units of the SCMD (Lower Kur depression, Absheron Archipelago etc.) as well.

As a rule, mud volcanoes widespread in the circum-Pacific mobile and Alpine-Himalayan orogenic belts are associated with subduction and collision zones where compressional stresses are extensively developed (Rahmanov, 1995). This shows that mud volcanoes are indicative of compressional stresses, that is to say, they are indices of compressional stresses generated in a thick sedimentary cover containing mainly clay. The environment under compressional stresses that had basically formed from late Miocene had direct impact upon the deposition process. Its rate in the sedimentary basin varies as a function of time and space (Buryakovski et al., 1991).

According to (Buryakovski et al. 1991) while the deposition rate being 0.4 mm/year in the central part of the South Caspian, it is 3-4 mm/year on its shelf and 6 mm/year at the Kur mouth (Buryakovski, et al 1991). Nevertheless, the thickness of Lower Pliocene sediments only grows up to 6-7 km towards the central part of the South Caspian depression. This is typical of the overlying sediments as well. In this connection, growing thickness of Middle and Upper Miocene sediments is observed along the western slope of the depression (Mamedov et al., 1995). Despite the fact that the thickness of the overlying sediments decreases in that direction and they bend in the form of a regional uplift (*Oil and gas perspectives...*, 2015) and that the Paleogene-Miocene sediments had been displaced beneath the Lower Pliocene sediments no later than in the Early Pliocene. This is confirmed by decrease in thickness of the Lower Pliocene sediments towards the crestal part of the abovementioned regional uplift, i.e. evolution of this regional uplift, that extends submeridionally, falls upon the period of formation of the Lower Pliocene sediments. These factors indicate active sublatitudinal compressional stresses (generated in the western slope of the SCD) starting in Later Miocene within the limits of the Baku Archipelago and central segment of the South Caspian. Presence of these stresses causes incompact deposit to be accumulated in the central, that is, deeper part of the basin. Periodic transportation of sediments accumulated on the continental slope of the South Caspian basin, which is the relict of the Tethys ocean, by turbidity currents towards the basin center is the special case of the aforementioned process. Thus, despite lower deposition rate in the deeper part of the basin (Buryakovski et al., 1991), in comparison with other segments, the situation mentioned above causes increasing thickness of Miocene – Quaternary sediments towards the deeps. At the same time complex graben-shaped crystalline basement of the basin had increased its rate of subsidence even more and had triggered formation of pre-syn depositional brachiform diapiric structures complicated by mud volcanoes before the inversion processes occurred.

Although the South Caspian depression is surrounded by the active collision zones it is, even at present, evolving as a negative geostructural unit shaped like a closed uncompensated intermountain intracontinental basin characterized by intense subsidence and deposition processes.

As a result of complication by fault and fracture networks the complex graben-shaped crystalline basement of the South Caspian basin has increased the basin's responsiveness to compressional stresses as well as to rising

geostatic pressure. Geostatic pressure has a positive impact on intensity of compressional stresses with ensuing increasing subsidence rate of the basin floor. Such an environment created favorable conditions for formation of diapir folds and syndepositional folds are characterized by oil and gas opportunities. This comes from formation of clay diapirs being associated with high clay content of the section, and clays, in turn, are the best quality and most widespread source rocks where accumulated organic matter (OM) turns into hydrocarbon at favorable temperature and pressure conditions.

High clay content of the SCD sedimentary cover, and of the Oligocene-Quaternary section in particular, and development of associated clay diapirs and mud volcanoes are grounds for statements on sedimentary formations rich enough with organic matter for the time period mentioned above. In order to figure this out we tried to reveal the connection of the geodynamic environment with change in percentage of organic matter in rock formations that constitute the normal lithostratigraphic section of the area (Yagubov *et al.*, 1971). Build-up of compressional stresses, the rate of burial of deposited sediments, geothermal gradient, tectonic and seismic activity, complication of the basement with faults have a significant impact upon generation of oil and gas in the basin and formation of their accumulations. Meanwhile, generation of oil and gas can be supported by deposition and continuous basin floor subsidence processes only. The average deposition rate in the South Caspian depression from the Later Mesozoic to the Oligocene was 50 m/mln.y and this process occurred in an oceanic environment void of compressional stresses (Narimanov, 2003). In the Oligocene – Early Miocene this region was characterized by the onset of compressional stresses in the marginal sea setting with the deposition rate of 135 m/mln.y. This rate ensures accumulation of up to 2 % of OM in potential source rock (Sokolov, 1985). In Pliocene-Quaternary the deposition rate rose to 1400–1600 m/mln.y., which is a favorable environment for accumulation of up to 10–15 % of OM in potential source rock. Apparently, OM accumulated in sediments composed primarily of clays and the deposition rate in the SCD that is delimited by collision and relict subduction zones in Pliocene-Quaternary are directly proportional to the amount of compressional stresses. Based on the aforesaid, the Upper Cretaceous, Maykopian and Productive Series (PS) potential source rocks of Mesocenozoic sediments are capable of generating commercial volumes of oil and gas. Nevertheless, it should be taken into account that the PS have not completely entered into the oil and gas generation zone in the SCD, that is why hydrocarbons generated by them cannot fully saturate their reservoir rocks (Narimanov, 2003). With this case we have grounds for the statement that PS reservoir rocks have been saturated by hydrocarbons generated not exclusively by the PS sediments, but by the Oligocene-Miocene sediments as well or even more. Catagenetic maturation of OM, on the other hand, depends, along with formation temperature, on dynamic processes (Sokolov, 1985) accompanied by mud volcanism that is the reason for generation of additional heat flow, i.e. compressional stresses are one of the motive forces for dynamocatagenesis in oil and gas generation. Apparently, in geodynamically and tectonically active negative geostructural units, that is within intermountain depressions, compressional stresses, mud volcanism and oil and gas content are strongly interrelated and mutually conditioned processes.

As for the Godin massif of the Turkmen shelf, in spite of a relatively higher local temperature gradient, lack of

compressional stresses in the sedimentary cover, very low tectonic activity and almost absence of dynamocatagenesis are indices of a low oil and gas generating potential in hypothetical source rocks of the regional cross-section. The paleogeographic setting, on the other hand, gives grounds for the statement that shallow water, its relatively higher mobility and that of the sediments cannot be deemed as a favorable environment for accumulation of enough OM. However, presence of compressional stresses and tectonic processes associated with them within the sedimentary cover surrounding the Turkmen shelf and the Godin massif may cause migration of the part of available fluids towards the Turkmen shelf and the Godin massif.

Conclusions

1. Since the South Caspian depression is surrounded by collision and relict subduction zones, compressional stresses have evolved to various extents throughout the area within each structural unit and are not evenly distributed.
2. The extent of development of mud volcanism in structural units under investigation is directly proportional to intensity of compressional stresses that can be considered as indicator of evolution of mud volcanoes, absence of mud volcanoes within the Godin massif is associated with unfavorable compressional stresses, lithofacies content of the sedimentary cover and its thickness.
3. Development of compressional stresses within the South Caspian depression and similar geostructural elements have a positive impact upon their oil and gas content, likewise, compressional stresses, mud volcanism and oil and gas content form a single process within negative geostructural elements of regions with geodynamically and tectonically active environment.
4. Compressional stresses of intermountain depressions active from geodynamic and tectonic perspective can be qualitatively assessed by means of isomorphic map built based on morphological properties of local uplifts and their development promotes mud volcanism processes and oil and gas content.

References

- Ahmedov, A.H. (1987). The mechanism of formation of the South Caspian megadepression and main patterns of its tectonic evolution. *Oil and gas*, 3, 25–30.
- Aliyev, A.I., Bagir-zade, F.M., Bunyat-zade, Z.A. *et al.* (1984). Map of oil and gas fields and perspective structures of the Azerbaijan SSR. Institute of Geology after academician Gubkin I.M. of the AzSSR AS.
- Buryakovski, L.D., Jafarov, I.S., Karimov, V.Y. (1991). Prospecting and exploration of marine oil and gas fields. Moscow, Nedra.
- Gamkrelidze, I.P. (1982). Mobilism and tectonic issues of the Caucasus. In "Issues of the Caucasus geodynamics". Moscow: Nauka. P. 4–8.
- Lebedev, L.I. (1987). The Caspian Sea. Geology and oil and gas content. Moscow: Nauka.
- Mamedov, P., Babayev, D. (1995). South Caspian Megatrough-Seismostratigraphy. Presented at the AAGP International Conference Exhibition, Nice, France, September 1995, 14.
- Narimanov, N.R. (2003). Geodynamic aspects of the formation of the sedimentary cover of the South Caspian depression. *Oil and gas geology*, 6, 26–31.
- Narimanov, N.R. (2003). Oil and gas generation potential of the South Caspian depression. *AOE (Azerbaijan Oil Economy)*, 3, 1–7.
- Narimanov, N.R. (2005). Geodynamic aspects of the formation of the structures in the South Caspian depression. *AOE (Azerbaijan Oil Economy)*, 9, 14–21.
- Narimanov, N.R. (2005). Geodynamic environment of the flanking of the South Caspian megadepression. *Azerbaijan geologist*, 10, 26–32.
- Oil and gas perspectives of the Turkmenistan shelf of the South Caspian megadepression (8 November 2015). Retrieved from <http://www.oilgas.gov.tm/compositions/19>.
- Rahmanov, R.R. (1995). World mud volcanism. *Theses of the reports of the III International Conference of the Azerbaijan Petroleum Geologists society, Baku*.
- Sokolov, B.A. (1985). Evolutional and dynamic criteria of evaluation of the oil and gas content of the Earth interior. Moscow: Nedra.
- Yagubov, A.A., Alizade, A.A., Zeynalov, M.M. (1971). Mud volcanoes of the Azerbaijan SSR. Atlas. Baku.
- Zonenshayn, L.P., Kuzmin, M.I., Natapov, L.M. (1990). Tectonics of the lithospheric plates of the USSR. V. 2. Moscow: Nedra. P. 220–223.

В. Гурбанов,
E-mail: vaqifqurbanov@mail.ru;
Н. Нариманов,
E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;
Г. Насібова,
E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості,
пр. Азадлиг, 34, м. Баку, AZE1010, Азербайджан

ВПЛИВ СТИСКАЛЬНИХ НАПРУГ У ПІВДЕННО-КАСПІЙСЬКІЙ МЕГАЗАПАДИНІ НА РОЗВИТОК І НАФТОГАЗОНОСНІСТЬ ЛОКАЛЬНИХ ПІДНЯТТІВ

У Південнокаспійській мегазападині (ПКМЗ) розглянуто такі структурні елементи: межиріччя Кури і Габирри, Абшеронський і Бакинський архіпелаги, Нижньокурунська западина і масив Година, що відрізняються геодинамічним і структурно-тектонічним розвитком, а також нафтогазоносністю.

Для вирішення поставленого завдання було проаналізовано геодинамічний режим ПКМЗ, на основі складених автором геодинамічної схеми Центрального сегмента Середземноморського гірничо-складчастого пояса, схеми орієнтації стискальних напруг в НКВЗ і вперше розробленої методики їхньої якісної оцінки в межах структурних елементів шляхом складання карт ізоморф. Останні дозволяють визначити інтенсивність і характер поширення стискальних напруг, особливості їхнього впливу на складкоутворення, нафтогазогенерацію і формування скупчень вуглеводнів.

Межиріччя Кури і Габирри розміщено на заході ПКМЗ між близько розташованими Мало- і Великокавказькою колізіями. Воно характеризується нафтогазоносними і перспективними субширотно орієнтованими лінійними складками, ускладненими діз'юнктивами і грядзеувулканізмом. Значення ізолин карти ізоморф та їхня щільність свідчать про велику інтенсивність стискальних напруг північно-західної орієнтації.

Абшеронський архіпелаг є західним елементом Абшероно-Прибалханської залишкової субдукції. Згідно з картою ізоморф з густою мережею ізолин субширотної орієнтації архіпелаг ускладнений лінійною складчатістю, а також насувами, поперечними зрушеннями, грядзеувулканізмом, нафтогазоносністю і нафтогазопроявами, що свідчать про розвиток тут інтенсивних стискальних напруг.

У Бакинському архіпелазі й Нижньокурунській западині (НКЗ) розвиток складок відбувався за напружень поздовжнього і поперечного вигинів. На картах ізоморф слабковиражена лінійність стискальних напруг очевидно пов'язана з формуванням між ними Західного борту ПКЗ у вигляді регіонального субмеридіонального підняття. Воно розвивалося під впливом стискальних напруг, що виникають під впливом північно-східного виступу Аравійської плити на Ірано-Афганську. НКЗ є сухопутним продовженням Бакинського архіпелагу. Її антиклінальні зони, регіональні розриви, грядзеувулканізм і нафтогазоносність мають продовження в останньому.

Масив Година найсхідніший структурний елемент із розглянутих зі слабковидбитою складчатістю невідомої перспективності. Ізолин карти ізоморф не мають безпосереднього зв'язку з локальними підняттями, що свідчить про відсутність тут чітко виражених стискальних напруг.

Проведений аналіз дозволив визначити ступінь розвитку стискальних напруг, їхній вплив на формування осадового розрізу, складкоутворення, грядзеувулканізм і нафтогазоносність розглянутих структурних елементів.

Ключові слова: грядзеувулканізм, стискальні напруги, карти ізоморф, Абшеронський архіпелаг, нафта, газ.

В. Гурбанов
E-mail: vaqifqurbanov@mail.ru;
Н. Нариманов,
E-mail: nariman.narimanov40@asoiu.edu.az;
Г. Насібова
E-mail: gultar_nasibova_1@yahoo.com
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості,
пр. Азадлыг, 34, г. Баку, AZE1010, Азербайджан

ВЛИЯНИЕ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЮЖНОКАСПИЙСКОЙ МЕГАВПАДИНЕ НА РАЗВИТИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДНЯТИЙ

В Южнокаспийской мегавпадине (ЮКМВ) рассмотрены следующие структурные элементы: междуречье Куры и Габирры, Абшеронский и Бакинский архипелаги, Нижнекурунская впадина и массив Година, отличающиеся геодинамическим и структурно-тектоническим развитием, а также нефтегазоносностью.

Для решения поставленной задачи был проанализирован геодинамический режим ЮКМВ на основе составленных автором геодинамической схемы Центрального сегмента Средиземноморского горно-складчатого пояса, схемы ориентации сжимающих напряжений в ЮКВ и впервые разработанной методики их качественной оценки в пределах структурных элементов путем составления карт изоморф. Последние позволяют определить интенсивность и характер распространения сжимающих напряжений, особенно их влияния на складкообразование, нефтегазогенерацию и формирование скоплений углеводородов.

Междуречье Куры и Габирры находится на западе ЮКМВ между близко расположенными Мало- и Большекавказской коллизиями. Оно характеризуется нефтегазоносными и перспективными субширотно ориентированными линейными складками, осложненными дизъюнктивами и грядзеувулканизмом. Значения изолин карты изоморф и их плотность свидетельствуют о большой интенсивности сжимающих напряжений северо-западной ориентации.

Абшеронский архипелаг является западным элементом Абшероно-Прибалханской остаточной субдукции. Согласно карте изоморф с густой сетью изолин субширотной ориентации архипелаг осложнен линейной складчатостью, а также надувами, поперечными сдвигами, грядзеувулканизмом, нефтегазоносностью и нефтегазопроявлениями, свидетельствующими о развитии здесь интенсивных сжимающих напряжений.

На Бакинском архипелаге и Нижнекурунской впадине (НКВ) развитие складок происходило при напряжениях продольного и поперечного изгибов. На картах изоморф слабовыраженная линейность сжимающих напряжений очевидно связана с формированием между ними Западного борта ЮКВ в виде регионального субмеридионального поднятия. Оно развивалось под влиянием сжимающих напряжений, возникающих под воздействием северо-восточного выступа Аравийской плиты на Ирано-Афганскую. НКВ является сухопутным продолжением Бакинского архипелага. Ее антиклінальные зоны, региональные разрывы, грядзеувулканізм и нефтегазоносность имеют продолжение в последнем.

Массив Година самый восточный структурный элемент из рассмотренных со слабовыраженной отраженной складчатостью неустановленной перспективностью. Изолин карты изоморф не имеют непосредственной связи с локальными поднятиями, что свидетельствует об отсутствии здесь четко выраженных сжимающих напряжений.

Проведенный анализ позволил определить степень развития сжимающих напряжений, их влияние на формирование осадочного разреза, складкообразование, грядзеувулканізм и нефтегазоносность рассмотренных структурных элементов.

Ключевые слова: грядзеувулканізм, сжимающие напряжения, карты изоморф, Абшеронский архипелаг, нефть, газ.

УДК 551.763:553.98 (477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.10>К. Григорчук¹, д-р геол. наук, пров. наук. співроб.,E-mail: kosagri@ukr.net;В. Гнідець¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,E-mail: vgnidets53@gmail.com;З. Войцицький², гол. геолог,E-mail: tornado1409@ukr.net;¹Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3, а, м. Львів, 79060, Україна;²Технологічний центр ДГП "Укргеофізика", м. Київ, Україна

ДИНАМІКА РОЗВИТКУ ЛІТОФЛЮЇДНИХ НАФТОГАЗОВИХ СИСТЕМ У КРЕЙДОВИХ ВІДКЛАДАХ ЗАХІДНОЇ ЦЕНТРИКЛІНАЛИ ПРИЧОРНОМОРЬСЬКОГО МЕГАПРОГІНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

На основі моделювання динаміки катагенезу крейдових відкладів встановлено латеральну неоднорідність історії їхнього катагенезу в межах західної частини Причорноморського мегапрогину, спричинену тектонічним режимом блоків, розмежованих Голіцинським, Суліно-Тарханкутським, Губкіно-Донузлавським субширотними розломами. Установлено просторово-вікові особливості розвитку резервуарів і шляхів міграції вуглеводневих флюїдів, локалізовано прогнозні зони нафтобазонагромадження. Виділено чотири типи літогенетичних резервуарів, які відрізнялися часом утворення, особливостями будови, флюїдним режимом і характером нафтогазонасиченості. Показана стадійність генерації вуглеводневих флюїдів, що спричинило формування покладів, які містять вуглеводні різного складу та часу утворення. На першому циклі катагенезу осередок генерації був локалізований переважно у відкладах нижнього альбу (t 80–100 °C), на другому – середнього альбу (t 100–120 °C), на третьому – верхнього альбу (t 130–150 °C). За певної різниці ситуацій осадконагромадження цих стратиграфічних одиниць склад і вміст у відкладах розсіяної органічної речовини були неоднаковими. Це, а також різна температура генерації, вочевидь, спричиняли специфіку складу вуглеводневих флюїдів, що утворювалися на окремих циклах катагенезу. На шляхах міграції та в ході структурних перебудов відбувалося змішування цих флюїдів, утворювалися мультикомпонентні системи і змінювався склад вуглеводнів. Аргументована можливість існування субвертикальних "жильних" ділянок нафтогазонагромадження шириною до 10 км і висотою до 1,5–2,0 км. Такі резервуари, з одного боку, можуть містити поклади, а з іншого – поставляти вуглеводні у залягаючі вище пастки. За такого характеру нафтогазонагромадження потенційні ресурси, а відповідно і перспективи нафтогазоносності регіону, можуть бути значно вищими.

Ключові слова. Причорноморський мегапрогин, крейдові відклади, катагенез, нафтогазоносність.

Постановка проблеми. Нафтогазовий потенціал північно-західної акваторії Чорного моря підтверджений відкриттям низки нафтових, газових і газоконденсатних родовищ. Утім дотепер не вирішені питання, пов'язані з аргументованим виділенням в його межах нафтогазових систем. Водночас, якщо нафтогазоматеринські товщі та осередки генерації вуглеводнів більшменш упевнено локалізовані (Гнідець та ін., 2010; Григорчук, 2012; Надежкін і др., 2013), то історія їхньої еволюції в катагенезі, імовірні шляхи міграції та ділянки акумуляції вуглеводневих флюїдів на сьогодні не досліджені. Для з'ясування цих питань здійснено моделювання динаміки катагенезу крейдових відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину в контексті реконструкції процесів генерації, міграції та акумуляції вуглеводнів (ВВ).

Мета роботи. На основі флюїдодинамічної концепції змодельовати історію еволюції катагенезу крейдової нафтогазоматеринської товщі, установити шляхи міграції та локалізувати ділянки акумуляції вуглеводневих флюїдів.

Методика досліджень. Установлення історико-генетичних особливостей формування порід-колекторів і резервуарів, динаміки генерації та міграції ВВ здійснювалося на основі флюїдодинамічної концепції катагенезу (Григорчук, 2012). Для кращого розуміння поданого матеріалу коротко зупинимося на принципових положеннях концепції й термінах, які використовуються у подальшому тексті.

Флюїдодинамічна концепція обґрунтовує циклічну природу катагенезу, згідну з етапністю тектонічного режиму, вплив якого на катагенез опосередкований особливостями флюїдодинаміки. Цикли катагенезу розпочинаються інфільтраційним або ексфільтраційним пасивним підетапом (домінування низхідних рухів) і завершуються ексфільтраційним активним підетапом (інверсійні рухи).

Періодизація катагенезу базується на моделюванні історії занурення відкладів. На пасивному підетапі, у зонах інтенсивного занурення низькопроникних глинистих відкладів, утворювалися ізольовані системи, формувалися аномально високі пластові тиски. Унаслідок накопичення та неможливості видалення продуктів прямих реакцій процеси перетворення органічної речовини та глинистих мінералів гальмувалися (явище консервації процесів літогенезу) за терміном (Кудельський, 1982). Водночас акумулювалися значні запаси флюїдної, теплової та пружної енергії, що служило рушійною силою міграції флюїдів, включаючи вуглеводневі. Вивільнення цієї енергії відбувалося на активних підетапах катагенезу, насамперед завдяки утворенню регіональних субгоризонтальних зон тріщинуватості тектонофізичної природи.

На кожному циклі та етапі катагенезу формувалися літогенетичні резервуари. За характером їхнього зв'язку з певними режимами катагенезу можна виділити чотири основні типи. Резервуари 1 типу характеризуються перманентним розвитком протягом усіх циклів та етапів катагенезу, а починають вони формуватися з пасивного підетапу першого циклу. Локалізовані вони в ділянках виразних літофаціальних заміщень, де унаслідок нерівномірного ущільнення осадових тіл різного складу формувалася різноспрямована літогенетична тріщинуватість, що сприяла міграції флюїдів. Останні спричиняли процеси вилугування, перекристалізації, перерозподілу мінеральної речовини. У результаті в цих ділянках сформувалися резервуари, які відрізнялися складною будовою: розвиток блоків пористих і мікротріщинуватих порід, які розділялися потужними зонами тріщинуватості (Григорчук та Сеньковський, 2013).

Решта типів пов'язана з активними підетапами катагенезу. При цьому у структурно-часовому аспекті

можна виділити такі різновиди: 2 тип формується на активному підетапі безпосередньо в субгоризонтальних зонах розуцільнення, у ділянках алевроліто-піщаних чи карбонатних порід, куди надходили агресивні флюїди з області консервації літогенетичних процесів (осередку генерації вуглеводнів). Це зумовлювало формування колекторів під час розчинення карбонатних мінералів цементу, уламкових – каркасу порід, каолінізації глинистих мінералів. Поступова втрата по латералі енергетичного потенціалу розчинів, їхнє змішування з поровими спричиняли різноманітний аутигенний мінералогенез. Унаслідок цього утворювалися ділянки порід-колекторів вилугування, облямовані зонами мінерального ущільнення. Формування резервуарів 3 типу розпочиналося на активному підетапі катагенезу, коли виникали регіональні зони розуцільнення (тріщинуватості) (Григорчук, 2012), в які, в істотно глинистих породах осередків генерації, унаслідок значного дилатансійного ефекту відбувалося нагнітання флюїдів з навколишнього породного масиву, що призводило до нагромадження вуглеводнів головним чином у тріщинах. На пасивному підетапі катагенезу режим розтягу в зонах

змінювався стисненням. При цьому в породах зберігалася лише залишкова дилатансійна пористість, а зв'язність тріщин як флюїдопровідної системи зменшувалася. Попередньо акумульовані вуглеводневі флюїди опинялися у вигляді окремих ліній і включень у тріщинуватих породах (мергелі, аргіліти). Геостатичні навантаження спричинили формування аномально високих порових тисків. 4 тип – це 2-й тип резервуарів, які були утворені на попередніх циклах катагенезу.

Одержані результати та їхнє обговорення. Дослідження проведено за профілем свердловин: Прадніпровська-1 – Флангова-2 – Гамбурцева-2 – Десантна-1, який перетинає західну периферію Голіцинського та Гамбурцівського осередків генерації ВВ, пов'язаних із глинистими нашаруваннями нижньої та мергельно-глинистими – верхньої крейди (Гнідець та ін, 2010; Григорчук, 2012) (рис. 1). Історія катагенезу крейдових відкладів у цих свердловинах відрізнялася (рис. 2), що спричинено їхнім розміщенням у різних тектонічних блоках, межами між якими служать Голіцинський, Суліно-Тарханкутський, Губкіно-Донузлавський розломи.

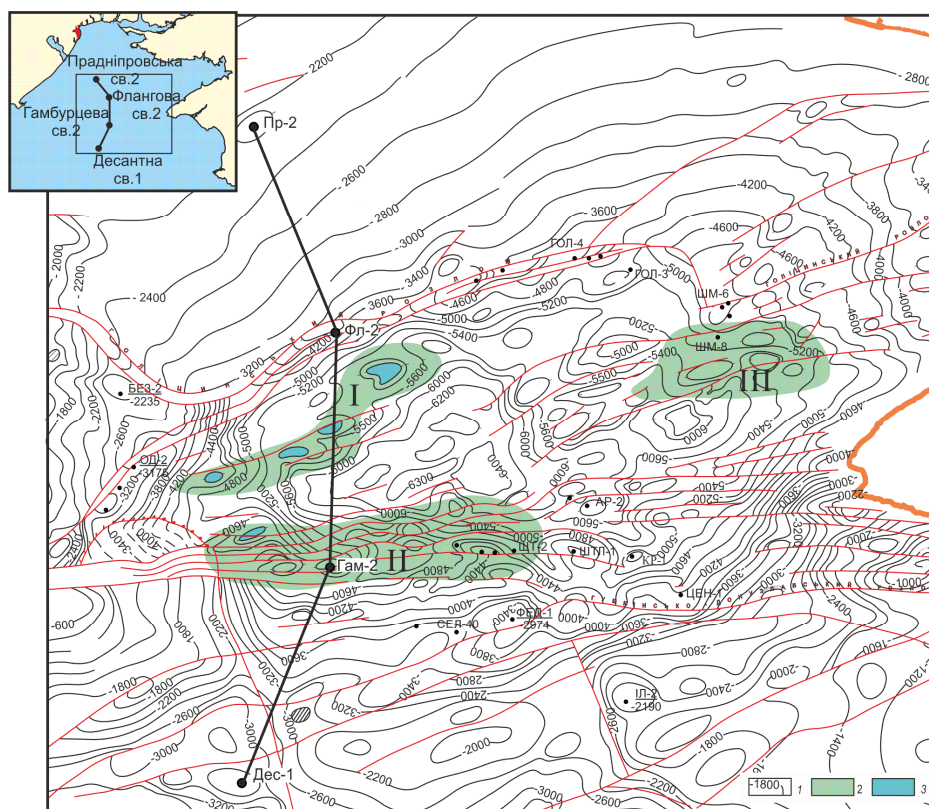


Рис. 1. Структурна карта по підшві нижньокрейдових відкладів, за (Стовба, 2005):

1 – ізогипси; 2 – осередки нафтогенерації: I – Голіцинський, II – Гамбурцівський, III – Тарханкутський; 3 – перспективні площі

Вплив цих розломів на формування осадового чохла засвідчує характер поширення літолого-стратиграфічних комплексів: виклинування окремих одиниць або виразні фаціальні зміни їхньої структури (див. рис. 2).

На структурах Прадніпровська та Десантна протягом крейди-антропогену тривав пасивний режим катагенезу (поступове практично безперервне занурення). Натомість, на Фланговій відклади крейди зазнали впливу трьох, а на Гамбурцева – двох циклів катагенезу, які відрізнялися тривалістю та часом прояву (див. рис. 2).

Основним джерелом літофлюїдної енергії служили істотно глинисті депресійні утворення, розвинені в депоцентрі Причорноморського мегапрогину, для яких

характерний прояв трьох циклів катагенезу (Григорчук, 2012). Відповідно ретроспективні моделі, за згаданим перетином, побудовані для трьох вікових зрізів: передкампанського, передпалеоценового та передміоценового. При цьому для генералізації різнофаціальних товщ нижньої (теригенної) та верхньої (карбонатної) крейди було виділено певні літофлюїдні комплекси. Перший – це переважно глинисті (теригенно- чи карбонатно-) утворення; другий – літологічні тіла, складені рівнозначним перешаруванням алевролітів, пісковиків або вапняків з аргілітами; третій представлений істотно алевроліто-піщаними або вапняковими верствами.

На моделях наносилися ізотерми, положення яких визначено на основі сучасних значень температур з окремим свердловин (Глушко і Максимов, 1981) з

урахуванням даних (Белоконь, 2005; Леонов і Волож, 2004) щодо еволюції теплового режиму від рифтової (у даному випадку неокон-сантон) до синеклізної стадій.

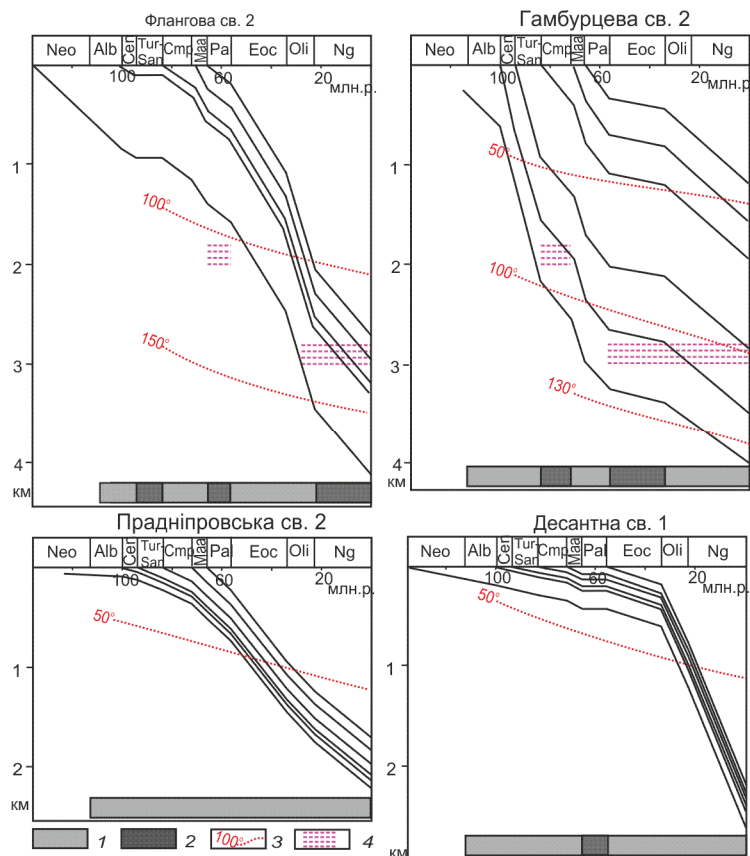


Рис. 2. Історія занурення та періодизація катагенезу відкладів крейди.
Ексфільтраційний етап катагенезу: 1 – пасивний підетап, 2 – активний підетап;
3 – палеотемператури; 4 – регіональні зони розуцільнення

На **першому циклі** катагенезу (пасивний підетап) три резервуари I типу почали формуватися у зонах переходу утворень аргілітової серії у відклади псамітової та алевролітової серії готериву-барему, нижнього та середнього альбу (літологофаціальна зональність, за Гнідець та ін., 2010). Перший та другий – локалізовані на північному та південному бортах Голіцинської, третій – у центральній зоні Гамбурцівської депресії (рис. 3).

Ураховуючи температурні параметри цього часу, у другому та третьому резервуарах могли формуватися вторинні колектори завдяки вилугуванню карбонатних мінералів. До цих же резервуарів імовірно надходили певні порції флюїдів (у т.ч. ВВ) завдяки їхньому розміщенню в безпосередній близькості до зон консервації, які охоплювали головні відклади нижнього та середнього альбу. Перший резервуар був найменш цікавим через віддаленість від зони консервації (осередку генерації ВВ) і стабільності карбонатних мінералів, що погіршувало ФЄВ порід-колекторів.

Активний підетап катагенезу (висхідні рухи) проявився у передкампанський час (на Фланговій структурі – передтуронський), коли виникла регіональна зона розуцільнення, що дренивала зони консервації (генерації ВВ). У результаті в докрейдових відкладах на схилах згаданих депресій утворилися три резервуари II типу (область вилугування, екранована мінерально ущільненими (головно карбонатизованими) породами) (рис. 3). Генерація вуглеводнів у межах зони консервації (за температур 80–100 °С) імовірно тільки

розпочалася, тому масштаби їхнього надходження до зазначених резервуарів були незначними.

Пасивний підетап **другого циклу** катагенезу тривав до палеоцену (на структурі Гамбурцева – до еоцену). Резервуари I типу дещо збільшилися в об'ємі, а завдяки декарбонатизації в них посилювалися процеси формування вторинних колекторів. Резервуари II типу трансформувалися у III тип. А в глинистих утвореннях альбу виник резервуар IV типу. Резервуари двох останніх типів становлять єдину систему, але істотно різняться за властивостями порід-колекторів (IV – це виключно тріщинний колектор).

У зв'язку з нерівномірним зануренням відкладів III–IV резервуари набули дещо похилого залягання з падінням в одному випадку з півночі на південь, а в іншому – навпаки (рис. 4). Близьке розміщення резервуарів до зони консервації спричинило надходження до їхніх меж певних порцій вуглеводневих флюїдів.

На активному підетапі другого циклу катагенезу (крім згаданих вище) виникло п'ять резервуарів II типу: три – у докрейдових відкладах, один – у відкладах готериву – нижнього альбу, другий – середнього альбу (див. рис. 4). У результаті на схилах Голіцинської депресії за рахунок суперпозиції резервуарів I та II типів сформувалися їхні доволі великі вузли, в які, зоною розуцільнення концентрованими потоками могли надходити ВВ флюїди. Подібні процеси, але меншого масштабу, імовірно відбувалися і в Гамбурцівській депресії.

Пасивний підетап **третього циклу** катагенезу тривав до початку міоцену. Щоправда проявився він лише в Голіцинській депресії та по її облямуванню. Гамбурцівська депресія нині практично не виражена, що, вірогідно, спричинено впливом Суліно-Тарханкутського розлому. На схилах Голіцинської депресії збільшилися об'єми (насамперед висота) резервуарів I типу.

Морфологія парагенетично пов'язаних резервуарів III і IV типів значно ускладнилася згідно з деформаціями осадової товщі в ході її занурення. Зона консервації вірогідно охоплювала лише відклади верхнього альбу, оскільки в частині розрізу нижньої крейди існували раніше утворені резервуари.

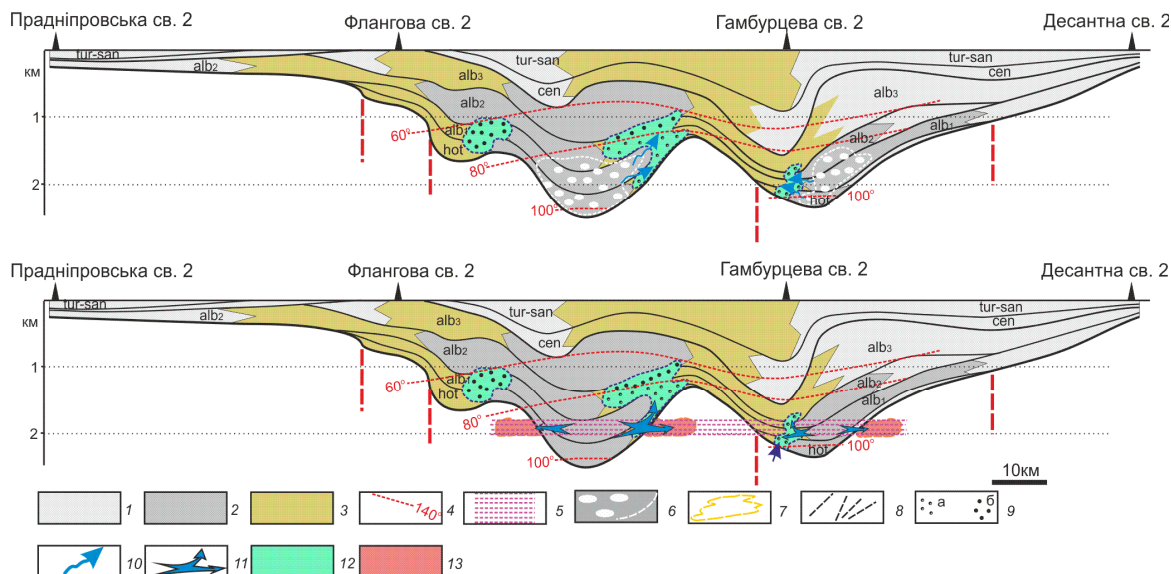


Рис. 3. Модель розвитку резервуарів вуглеводнів на першому циклі катагенезу.

Осадові комплекси: 1 – алеволіто-піщаний (нижня крейда) і вапняковий (верхня крейда), 2 – істотно глинистий, 3 – алеволіто-піщано(вапняково)-глинистий; 4 – палеотемператури; 5 – регіональні зони тріщинуватості;

6 – область консервації процесів літогенезу, 7 – резервуари, 8 – тріщинуватість,

9 – колектори: а – вторинна пористість декарбонізації, б – виповнення пор карбонатними мінералами; флюїдні перетоки:

10 – розсіяні; 11 – концентровані; резервуари: 12 – I типу, 13 – II типу

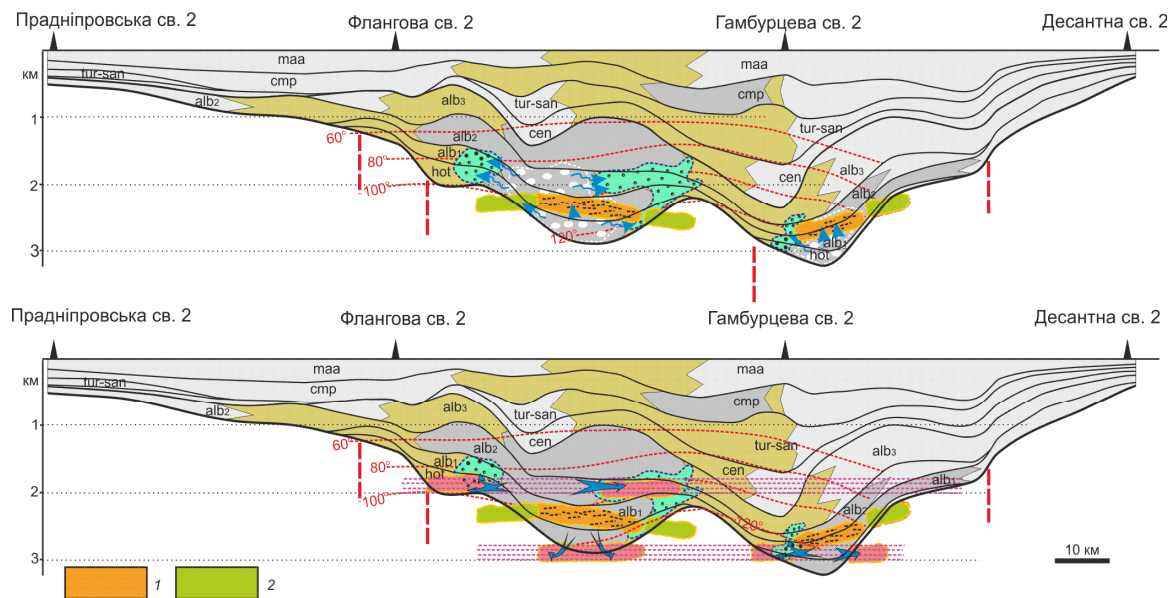


Рис. 4. Модель розвитку резервуарів вуглеводнів на другому циклі катагенезу.

Резервуари: 1 – тип III, 2 – тип IV. Решта позначень див. рис. 3

У районі структури Гамбурцева істотних змін літофізичної будови резервуарів порівняно з попереднім циклом не відбулося як на пасивному, так і на активному підетапах.

Натомість у Голіцинській депресії під час останнього підетапу виникло два резервуари II типу, які наклалися на подібні утворення попередніх циклів, що загалом призвело до формування вузлів резервуарів різного генезису, часу формування та внутрішньої будови (рис. 5). Власне до цих резервуарів лавинно

надходили ВВ флюїди регіональною зоною розущільнення, яка дренавала осередок генерації, що охоплював потужні глинисті нашарування верхнього альбу.

Проведені ретроспективні побудови дають підстави запропонувати модель розвитку резервуарів та імовірні шляхи міграції ВВ.

У найбільш цікавій в економічному аспекті Голіцинській депресії прогнозується існування трьох ізольованих (замкнених) резервуарів, які розвинені в

докрейдових утвореннях і відкладах готериву–середнього альбу (див. рис. 5). Ці резервуари являють собою релікти давніх нафтогазових систем, які активно діяли протягом перших двох циклів катагенезу. Резервуари характеризуються латеральною неоднорідністю: заміщення тріщинних колекторів тріщинно-каверно-поровими від центральних частин до периферії, що

дозволяє припускати відповідну неоднорідність флюїдонасиченості та енергетичного стану флюїдів. Ураховуючи температурні умови часу формування цих резервуарів, вони вірогідно були виповнені рідкими ВВ. У ході подальшого занурення і зростання температур можливі були певні зміни їхнього складу з формуванням мультикомпонентних вуглеводневих сумішей.

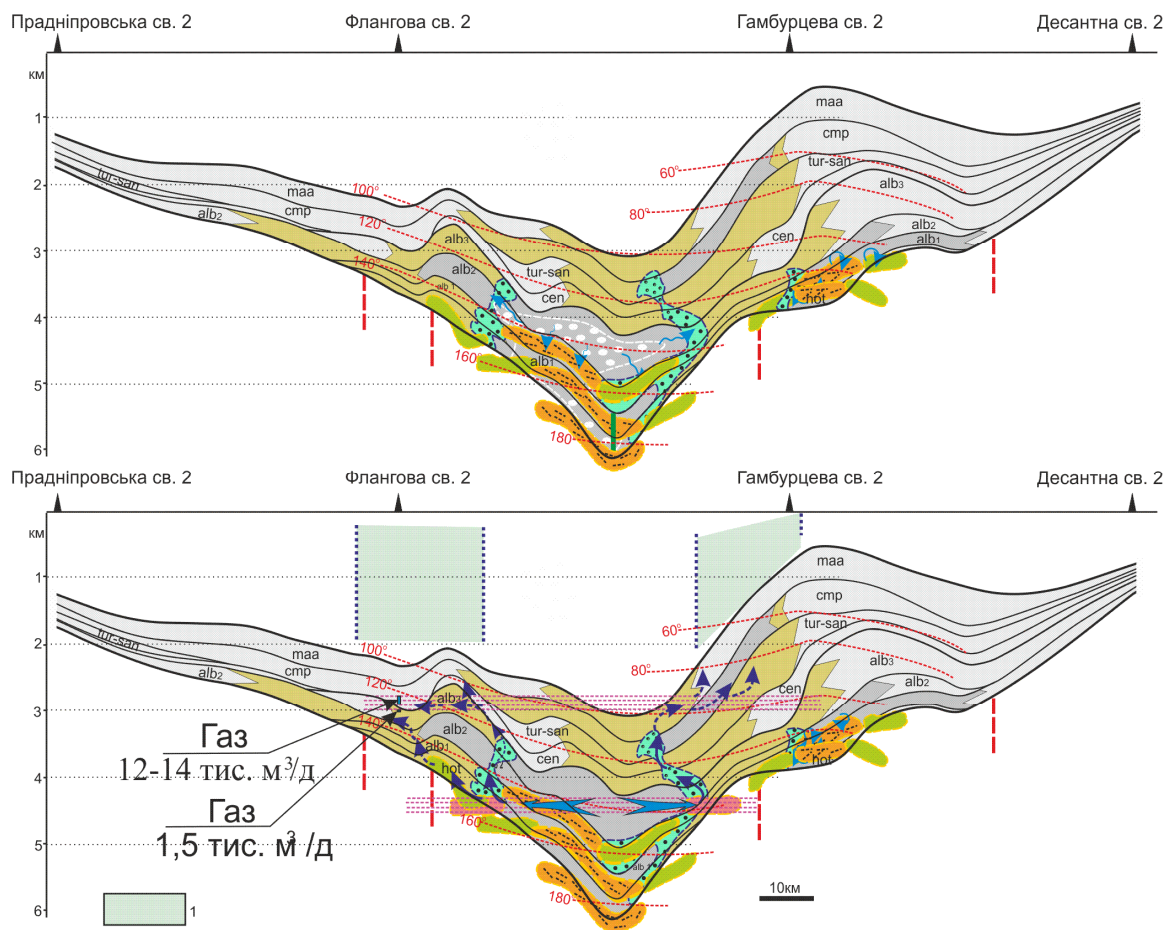


Рис. 5. Модель розвитку резервуарів вуглеводнів на третьому циклі катагенезу:

1 – прогнозовані зони нафтогазоагромадження. Решта позначень див. на рис. 3, 4

На третьому циклі катагенезу сформувалася активна (вірогідно і на сьогодні) нафтогазова система, яка охоплює осередок генерації ВВ (глинисті відклади альбу Голіцинського депозентру), звідки останні надходять до комбінованих резервуарів, розвинених як у нашаруваннях нижньої, так і верхньої крейди. Подальша міграція ВВ флюїдів вочевидь може відбуватися у субгоризонтальному (по зоні розушільнення) і субвертикальному (по зонах фациальних заміщень) напрямках. Така спрямованість потоків ВВ дозволяє виділити дві прогнозовані зони нафтогазоагромадження, локалізовані на північному та південному бортах Голіцинської депресії. Результати моделювання узгоджуються із фрагментарними фактичними даними, що є певним підтвердженням його коректності. Так, у св. Флангова-2 отримано припливи газу: 12–14 тис. м³/д (інт. 2796–2932 м) та 1,5 тис. м³/д (інт. 3022–3038 м). Колектори представлені тріщинно-сутуро-стилолітовими вапняками (інт. 2810–2934 м). Це, власне, інтервали розвитку регіональної зони розушільнення, по якій прогнозується лавинна міграція ВВ флюїдів.

У зв'язку із зазначеним вище позитивно можна оцінити підняття Мирне, Партизанське, які, згідно зі (Стовба, 2005), розміщені на південь від Флангової

структури; Осетрове та Анчоус, розташовані північніше структури Гамбурцева (див. рис. 1).

Отримані результати дають підстави розглядати можливість існування "жильних", у розумінні (Григор'янц, 2005), ділянок нафтогазоагромадження. Це стосується передусім резервуарів I типу, які формують субвертикальні форми шириною до 10 км і висотою до 1,5–2,0 км (див. рис. 3–5). Такі резервуари, з одного боку, можуть містити поклади, а з іншого – постачати ВВ у залягаючі вище пастки. За жильного характеру нафтогазоагромадження потенційні ресурси, а відповідно і перспективи нафтогазоносності, можуть бути значно більш високими.

Незважаючи на те, що основний акцент даного дослідження – це прогноз особливостей просторово-вікового розвитку літогенетичних резервуарів, із нього впливають певні висновки стосовно стадійності утворення ВВ. Так, (див. рис. 2–5) на першому циклі катагенезу осередок генерації був локалізований переважно у відкладах нижнього альбу (t 80–100 °C, стадія МК₁), на другому – середнього альбу (t 100–120 °C, стадія МК₂), на третьому – верхнього альбу (t 130–150 °C, стадія МК₃₋₄). Ураховуючи певну різницю ситуацій осадконагромадження цих стратиграфічних одиниць (Гнідець

та ін., 2010), можна передбачати специфіку як складу, так і вмісту у відкладах розсіяної органічної речовини. Це, а також зазначена вище різна температура генерації вочевидь спричиняли специфіку складу ВВ флюїдів, що утворювалися на окремих циклах катагенезу. На шляхах міграції та в ході структурних перебудов відбувалося змішування цих флюїдів, утворювалися мультикомпонентні системи і змінювався склад ВВ. Вочевидь це могло бути однією із причин варіацій їхнього ізотопного (С, Н) складу, що згідно з (Лукін, 2006) указує на участь у формуванні покладів різних вуглеводнегенеруючих систем.

Висновки. Таким чином, на основі моделювання історії занурення крейдових відкладів західної центрикліналі Причорноморського мегапрогину визначено особливості режиму їхнього катагенезу. Показано, що латеральна різниця історії катагенезу крейдових відкладів західної частини Причорноморського мегапрогину спричинена тектонічним режимом блоків, розмежованих Голіцинським, Суліно-Тарханкутським, Губкіно-Донузлавським субширотними розломами.

Виділено чотири літогенетичні типи резервуарів, які відрізнялися часом утворення, особливостями будови, флюїдним режимом і характером нафтогазонасиченості.

Установлено просторово-вікові особливості розвитку резервуарів і шляхів міграції вуглеводневих флюїдів, характерні риси сучасного стану нафтогазової системи, локалізовано прогнозні зони нафтогазоагромадження.

Аргументовано стабільність генерації ВВ флюїдів, що спричинило формування покладів, вмісних вуглеводнів різного часу утворення та різного складу.

Список використаних джерел

- Белоконов, А. В. (2005). Применение технологии бассейнового моделирования для оценки нефтегазоносности глубокопогруженных отложений Запада Сибири. *Материалы VII междунар. конф. "Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа"*. М.: ГЕОС, 75–76.
- Глушко, В.В., Максимов, С.П. (ред.). (1981). Прогноз поисков нефти и газа на юге СССР и на прилегающих акваториях. Москва: Недра.
- Гнідець, В. П., Григорчук, К. Г., Захарчук, С. М., Мельничук, П. Н., Полухтович, Б. М. та ін.. (2010). Нафтогазоперспективні об'єкти України. Геологія нижньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області. Київ: ЕКМО.
- Григорчук, К. Г. (2012). Динаміка катагенезу порід осадових комплексів нафтогазоносних басейнів. *Автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.21*. Львів.
- Григорчук, К. Г., Сеньковський, Ю. М. (2013). Дискретне формування резервуарів "сланцевого" газу в експлітаційному катагенезі. *Геодинаміка*, 14, 61–68.

K. Hryhorchuk¹, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: kosagri@ukr.net;

V. Hnidets¹, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: vgnidets53@gmail.com;

Z. Wojcickiy², Chief Geologist,
E-mail: tornado1409@ukr.net;

¹Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
3, a, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine;

²Technology center of SGC "Ukrgeofizika"

Григорьянц, Б.В. (2005). Глинистые толщи пород – объект формирования крупных зон нефтегазоаккумуляции. *Геология нефти и газа*, 4, 48–54.

Кудельский А.В. (1982). Литогенез, проблемы гидрогеохимии и энергетики нефтегазоносных бассейнов. *Литология и полезные ископаемые*, 5, 101–116.

Леонов, Ю.Г., Волож, Ю.А. (ред.). (2004). Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. Москва: Научный мир.

Лукін, А.Е. (2006). Основные закономерности формирования залежей нефти и газа в Черноморском регионе. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 3, 10–21.

Надеждин, Д.В., Спахич, Д.А., Горчилин, В.А. и др. (2013). Анализ углеводородных систем северо-западной части Черного моря. *Conference Proceedings, Geomodel – 15th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development*. DOI:https://doi.org/10.3997/2214-4609.20131491

Стовба, С.М. (2005). Геолого-геофізична оцінка нафтогазоносного потенціалу і виділення першочергових об'єктів пошуків вуглеводнів для українського сектора Чорного та Азовського морів. *Звіт з НДР (заклучний)*. Київ.

References

- Belokon', A.V. (2005). Primenenie tehnologii bassejnogo modelirovaniya dlja ocenki neftegazonosnosti glubokopogruzhennyh otlozhenij Zapada Sibiri. *Materials of the VII intern. conf. "Novye idei v geologii i geohimii nefiti i gaza"*. M.: GEOS, 75–76. [in Russian]
- Glushko, V.V., Maksimov, S.P. (Eds.). (1981). Prognoz poiskov nefiti i gaza na jube USSR i na priliegajushhih akvatorijah. Moskva: Nedra. [in Russian]
- Grigor'yants, B.V. (2005). Glinistyye tolshchi porod – ob'yekt formirovaniya krupnykh zon neftegazonakopleniya. *Geologiya nefiti i gaza*, 4, 48–54. [in Russian]
- Hnidets, V.P., Hryhorchuk, K.H., Zakharchuk, S.M., Melnychuk, P.N., Polukhtovych, B.M. et al. (2010). Naftohazoperspektyvni ob'ekty Ukrainy. *Heolohia nyzhnoi kreidy Prychornomorsko-Krymskoi naftohazonosnoi oblasti*. Kyiv: EKMO. [in Ukrainian]
- Hryhorchuk, K.H. (2012). Dynamika katahenezu porid osadovy khkompleksiv naftohazonosny khbaseiniv. *Extended abstract of Doctor's thesis (Geol. Sci.): 04.00.21*. Lviv. [in Ukrainian]
- Hryhorchuk, K.H., Senkovskiy, Yu.M. (2013). Dyskretne formuvannya rezervuariv "slantsevoho" hazu v eksfiltratsiinomu katahenezii. *Heodynamika*, 14, 61–68.
- Kudel'skij, A.V. (1982). Litogenez, problemy gidrogeohimii i jenergetiki neftegazonosnyh bassejnov. *Litologija i poleznye iskopaemye*, 5, 101–116. [in Russian]
- Leonov, Ju. G., Volozh, Ju. A. (Eds.). (2004). Osadochnye bassejny: metodika izuchenija, stroenie i jevoljucija. Moskva: Nauchnyj mir. [in Russian]
- Lukin, A.E. (2006). Osnovnye zakonomernosti formirovaniya zalezhej nefiti i gaza v Chernomorskom regione. *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 3, 10–21. [in Russian]
- Nadezhkin, D.V., Spahich, D.A., Gorchilin, V.A. et al. (2013). Analiz uglevodorodnyh sistem severo-zapadnoj chasti Chernogo morja. *Conference Proceedings, Geomodel – 15th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development*. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.20131491 [in Russian]
- Stovba, S.M. (2005). Heoloho-geofizychna otsinka naftohazonosnoho potentsialu i vydilennia pershocherhovych ob'ektiv poshukiv vuhlevodniv dlja ukrajskoho sektora Chornoho ta Azovskoho moriv. *Zvitz NDR (zaklyuchnyi)*. Kyiv. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 19.02.21

DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF LITHOFLUID OIL AND GAS SYSTEMS IN THE CRETACEOUS DEPOSITS OF THE WESTERN CENTRICLINAL OF THE BLACK SEA MEGADEPRESSION

On the basis of modeling the dynamics of the catagenesis of the Cretaceous deposits, the lateral heterogeneity of the history of their catagenesis within the western part of the Black Sea megadepression, caused by the tectonic regime of the blocks separated by the Golitsyn, Sulino-Tarkhankutsky, Gubkino-Donuzlavsky sublatitudinal faults, was established. The spatio-temporal features of the development of reservoirs and migration paths of hydrocarbon fluids have been established, the predicted zones of oil and gas accumulation have been localized.

There are four types of lithogenetic reservoirs, which differed in the time of formation, structural features, fluid regime and the nature of oil and gas saturation. In the first cycle of catagenesis, the generation center was localized mainly in the sediments of the Lower Albian (t 80–100 °C), in the second – the Middle Albian (t 100–120 °C), in the third – the Upper Albian (t 130–150 °C). Given a certain difference in the situations of sedimentation of these stratigraphic units, the composition and content of scattered organic matter in the sediments were different. This, as well as the different generation temperatures, obviously caused the specific composition of hydrocarbon fluids formed during individual cycles of catagenesis. Along the migration pathways and during structural changes, these fluids were mixed, multicomponent systems were formed, and the composition of hydrocarbons changed. The possibility of the existence of subvertical "vein" areas of oil and gas accumulation with a width of up to 10 km and a height of 1.5–2.0 km is argued. Such reservoirs, on the one hand, may contain deposits and, on the other hand, supply hydrocarbons to overlying traps. Given the nature of oil and gas accumulation, the potential resources and, consequently, the prospects for oil and gas in the region can be much higher.

Keywords: Black Sea megadepression, Cretaceous deposits, catagenesis, oil and gas potential.

К. Григорчук¹, д-р геол. наук, вед. науч. сотр.,

E-mail: kosagri@ukr.net;

В. Гнидець¹, канд. геол. наук., ст. науч. сотр.,

E-mail: vgnidets53@gmail.com;

З. Войцицкий², гл. геолог,

E-mail: tornado1409@ukr.net;

¹Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины,
ул. Наукова, 3, а, г. Львов, 79060, Украина;

²Технологический центр ГП "Укргеофизика" г. Киев

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ЛИТОФЛЮИДНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СИСТЕМ В МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ ЦЕНТРИКЛИНАЛИ ПРИЧЕРНОМОРСКОГО МЕГАПРОГИБА

На основе моделирования динамики катагенеза меловых отложений установлена латеральная неоднородность истории их катагенеза в пределах западной части Причерноморского мегапрогиба, обусловленная тектоническим режимом блоков, разделенных Голицынским, Сулино-Тарханкутским, Губкино-Донузлавским субширотными разломами. Установлены пространственно-возрастные особенности развития резервуаров и путей миграции углеводородных флюидов, локализованы прогнозные зоны нефтегазоаккумуляции. Выделены четыре типа литогенетических резервуаров, которые отличались временем образования, особенностями строения, флюидного режима и характером нефтегазонасыщения.

Показана стадийность генерации углеводородных флюидов, приведшая к формированию залежей, содержащих углеводороды различного состава и времени образования. На первом цикле катагенеза очаг генерации был локализован преимущественно в отложениях нижнего альба (t 80–100 °C), на втором – среднего альба (t 100–120 °C), на третьем – верхнего альба (t 130–15 °C). При определенной разнице обстановок осадконакопления этих стратиграфических единиц состав и содержание в отложениях рассеянного органического вещества были неодинаковыми. Это, а также различная температура генерации, очевидно вызывали специфику состава углеводородных флюидов, образовавшихся на отдельных циклах катагенеза. На путях миграции и в ходе структурных трансформаций происходило смешивание этих флюидов, образовывались мультикомпонентные системы и менялся состав углеводородов. Аргументирована возможность существования субвертикальных "жилых" участков нефтегазоаккумуляции шириной до 10 км и высотой до 1,5–2,0 км. Такие резервуары, с одной стороны, могут содержать залежи, а с другой – поставлять углеводороды в вышележащие ловушки. При таком характере нефтегазоаккумуляции потенциальные ресурсы, а соответственно и перспективы нефтегазоносности региона, могут быть значительно более высокими.

Ключевые слова: Причерноморский мегапрогиб, меловые отложения, катагенез, нефтегазоносность.

УДК 552.13; 553.495

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.11>

В. Сидорчук, пров. інж.,
E-mail: sydvit@gmail.com,
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України,
Пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна;
В. Загнітко, д-р геол.-мінерал. наук, проф.,
E-mail: zagnitkow@i.ua,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ УРАНОВОГО ЗРУДЕНІННЯ В МЕЖАХ ТЕРЕЙНУ ТАЗІАСТ-ТІДЖІРІТ, РЕГІБАТСЬКИЙ ЩИТ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Регібатський щит є територією активної розвідки урану і за останні десятиліття в його межах було відкрито близько 80 рудопоявів. Дослідження проводились у межах терейну Тазіаст-Тіджіріт, що являє собою північно-західну частину архейського блока Регібатського щита. Порооди даного терейну мають мезоархейський вік. Основними типами порід є мігматити, гнейси та амфіболіти, зеленокам'яні асоціації, інтрузії гранітоїдів і прояви пегматитів.

Для виконання лабораторних досліджень з корінних порід терейну Тазіаст-Тіджіріт були відібрані зразки пегматитів, гранітоїдів, залізистих кварцитів і пухких порід, які виявляли підвищений радіаційний фон після проведення наземної радіометричної зйомки. У ході роботи було застосовано такі види лабораторних досліджень: 1) спектральний аналіз лазеролюмінісцентним методом для визначення вмісту урану в пробах; 2) атомно-емісійний спектральний аналіз для оціночного визначення концентрацій хімічних елементів у пробах; 3) рентген-флуоресцентний аналіз для визначення хімічного складу проб та елементів-домішок; 4) рентгеноспектральний (мікронзондовий) аналіз для визначення морфології зерен та елементного складу уранових мінералів.

Серед порід терейну Тазіаст-Тіджіріт підвищений вміст урану було виявлено в таких асоціаціях порід: пегматити та гранітоїди; залізисті кварцити в межах залізо-кременистої формації; калькрети в осадових породах чохла.

За результатами польових і лабораторних досліджень було встановлено особливості локалізації уранової мінералізації в калькретах ділянки Оум-Деруа. Було простежено основні геологічні та фізико-хімічні умови формування, необхідні для утворення уранового зруденіння калькретового типу в межах регіону досліджень.

Установлено, що гранітоїди та пегматити могли бути джерелом урану для формування рудної мінералізації в осадових формаціях, наприклад у піщаних і калькретових. Останні досить активно вивчаються і видобуваються у світі, зокрема і в межах Регібатського щита.

Одержані результати свідчать про високий потенціал терейну Тазіаст-Тіджіріт для пошуку та розвідки нових уранових рудопоявів.

Ключові слова: уранове зруденіння, гранітоїди, пегматити, калькрети, Регібатський щит.

Вступ. За останні десятиліття потреба в урані, як у дешевому та ефективному енергетичному ресурсі, невинно зростає. Головним чином це зумовлено поступовим виснаженням таких традиційних енергетичних корисних копалин, як вуглеводні, вугілля, торф і недостатніми виробничими потужностями "зеленої" енергетики.

Уран залишається одним із найважливіших енергетичних джерел у світі, а в деяких країнах, у тому числі в Україні, частка основаної на урані атомної енергетики становить більше половини всього балансу. Тому пошуки нових уранових рудопоявів і вивчення геологічних і фізико-хімічних особливостей локалізації уранового зруденіння є важливим напрямом сучасних геологічних досліджень.

Постановка проблеми та зв'язок її з важливими практичними завданнями. Регібатський щит на сьогодні є територією активної розвідки урану, де за останні десятиліття було відкрито чимало нових рудопоявів. В його межах відомо 80 уранових проявів, переважно у східній (палеопротерозойській) частині Регібатського щита, більшість з яких належить до гіпергенного калькретового або гранітного типу.

Північна частина Регібатського щита також має значний потенціал до виявлення уранових родовищ, на що вказують добре виражені аномалії за даними попередньої аерорадіометричної розвідки. Мінералізація 16 відомих проявів у гранітних породах пов'язана з пегматитовими жилами та зонами насуву. Рудопояви гранітного типу розташовані проксимально до головних розломних зон північно-західного простягання або в їхніх межах. Відомо, що гранітні породи з підвищеним вмістом урану досить часто служать первинним джерелом уранової мінералізації й для калькретових рудопоявів (Fernet, 2015).

Ураховуючи всі наведені вище геологічні особливості досліджуваного регіону, терейн Тазіаст-Тіджіріт є перспективною ділянкою для пошуку та вивчення уранової мінералізації в гранітоїдах, пегматитах і пухких відкладах осадового чохла.

Раніше проведені дослідження та публікації. Регібатський щит являє собою північну частину Західноафриканського кратону. Уперше він був описаний (Menchikov, 1949) як група кристалічних порід, що розділяє басейни Тіндуф та Таудені. Наступні дослідження (Bessoles, 1977; Dillon and Sougy, 1974) продемонстрували, що даний щит складений двома тектоностратиграфічними доменами, які розділені регіональною зоною інтенсивного пластичного насуву шириною до 40 км (ПнПнСх-ПдПдЗх простягання). Західний домен складений в основному мезо- та неархейськими гнейсами та гранітоїдами, а східний – із палеопротерозойських гранітоїдних і супракрустальних порід, утворених близько 2,1 млрд р. тому в період ебурнейського орогенезу.

Комплексне вивчення даної території у своїх роботах провів Chardon, 1997, який займався як структурним аналізом, так і дослідженням абсолютного віку порід. Найбільш повну та розгорнуту характеристику терейну Тазіаст-Тіджіріт надав Key, 2008, який провів комплексне датування порід U-Pb, Zr-Hf та Sm-Nd методами, а також детально описав етапи формування геологічних структур у межах терейну.

Починаючи із 2013 р. активну участь у дослідженнях і пошуках уранової мінералізації в межах терейну Тазіаст-Тіджіріт бере колектив науковців ННІ "Інституту геології" КНУ імені Тараса Шевченка (Sydorchuk, 2015; Virshylo et al., 2019).

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є вивчення уранової мінералізації терейну

© Сидорчук В., Загнітко В., 2021

Тазіаст-Тіджіріт Регібатського щита, установлення її генезису, зв'язку з геологічними структурами та породними асоціаціями.

Геологічна будова регіону досліджень. Терейн Тазіаст-Тіджіріт є крайньою західною ділянкою

архейської частини Регібатського щита. На півночі даний комплекс обмежений каледонськими та герцинськими спорудами Мавританід, а на півдні насупною зоною відокремлений від комплексу Амсага або терейну Чум-Раб Абід (Choum Rag el Abiod) (рис. 1).

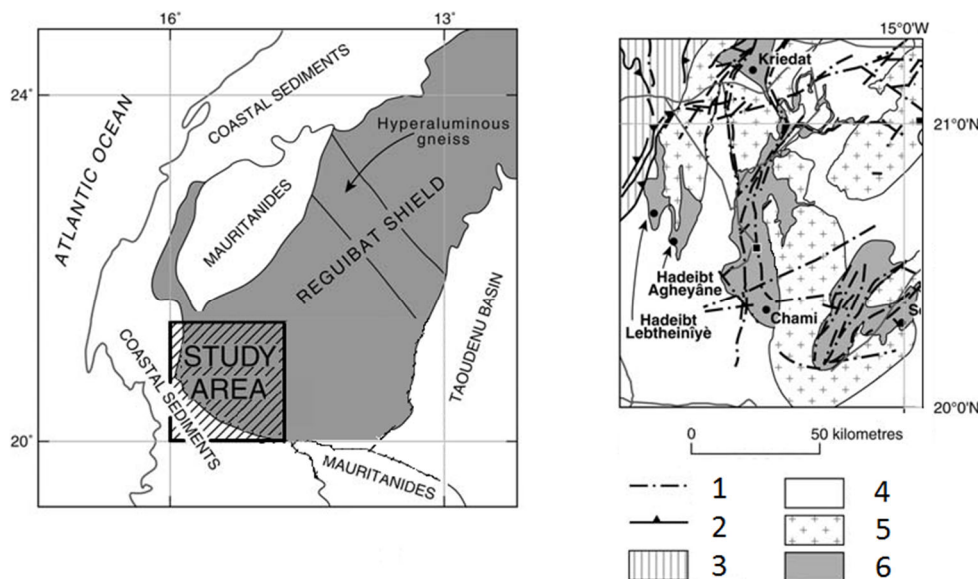


Рис. 1. Схематична геологічна карта терейну Тазіаст-Тіджіріт, модифікована (Key et al., 2008):

1 – розломи, 2 – зони насупу, 3 – пояс Мавританід, 4 – гнейси та амфіболіти, 5 – гранітоїди, 6 – зеленокам'яні пояси

Породи даного терейну мають мезоархейський вік. Гнейси та гранодіорові плутони мають вік 2,97 млрд р. (U-Pb) (Chardon, 1997). Усі комплекси порід, що представлені в терейні Тазіаст-Тіджіріт, можна умовно поділити на три великі групи:

- мігматити, гнейси з лінзами давніх амфіболітів та в деяких випадках граніто-гнейси;
- зеленокам'яні породи, які становлять сім зеленокам'яних поясів у межах терейну;
- інтрузії гранітоїдів, які утворились після зеленокам'яних поясів, серед яких переважають біотитові тоналіти або гранодіорити та масивні граніти.

Методика проведення робіт. Із корінних порід терейну Тазіаст-Тіджіріт були відібрані зразки пегматитів, гранітоїдів, залізистих кварцитів та рихлих порід які проявляли підвищений радіаційний фон при дослідженні їх геофізичними методами. Проби відбиралися, в основному, з ділянок і порід з найбільшими значеннями радіоактивності, а також і для відстеження фону. Для оцінки джерел і шляхів міграції урану, відбиралися також різні породи з низьким радіоактивним фоном.

Відібрані проби були піддані первинній обробці (виготовлення шліфів і аншліфів подрібнення, квартування, розтирання в пудру тощо), потім передані до лабораторії для виконання:

- спектрального аналізу лазеро-люмінесцентним методом на вміст урану в пробах;
- атомно-емісійного спектрального аналізу для оціночного визначення концентрацій хімічних елементів у пробах;
- рентген-флуоресцентного аналізу для визначення хімічного складу проб та елементів-домішок.

Результати досліджень. При проведенні польових досліджень на території терейну Тазіаст-Тіджіріт за допомогою радіометричних дистанційних методів було виділено декілька зон підвищеного радіаційного фону. Ці зони були детально вивчено та співвіднесено з породами, які могли нести уранову мінералізацію та створювати радіоактивні аномалії. Усі породи з території

досліджень, в яких зафіксовано підвищений вміст урану, були розділені на три великі групи:

1. Пегматити та гранітоїди.
2. Залізисті кварцити в межах залізо-кременистої формації.
3. Калькрити в осадових породах чохла.

Пегматити та гранітоїди. За результатами оптичних досліджень у шліфах установлено, що структура гранітоїдів типова середньокристалічна, а пегматитів – середнь-гігантокристалічна. Порода катклазована, що виявляється у роздрібненні великих зерен кварцу та польового шпату. Лужний натрієвий польовий шпат помітно переважає над калієвим. Серед основних мінералів у даних породах присутні: плагіоклаз (переважно олігоклаз), кварц, калієвий польовий шпат, біотит, гранат, циркон, сфен, монацит, магнетит, ільменіт, мінерали урану та торію.

За результатами рентген-флуоресцентного аналізу вміст SiO_2 в досліджених пегматитах і гранітоїдах коливається від 72 до 77,9 %, вміст $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – від 6,1 до 9,7 %. За цими показниками досліджувані породи мають гранітний склад і належать до категорій сублужного граніту або лейкограніту.

За результатами спектрального аналізу на вміст урану встановлено, що різні за типом гранітоїди демонструють відмінні значення вмісту урану. Найбільший вміст урану зафіксовано у зразку пегматитів з рідкісно-земельною мінералізацією – 1080 ppm.

Даний тип пегматитів був детально вивчений за допомогою мікрозондового аналізу для встановлення характеру уранової мінералізації. Основними мінералами-концентраторами урану в них установлено уранофан, ураноторит і бранерит (Сидорчук, 2015).

Залізисті кварцити приурочені до структури залізо-кременистої формації хребта Лебтенія – лінійної, витягнутої в субмеридіальному напрямку структури. Довжина осової частини даного хребта, яка виходить на денну поверхню, близько 20 км. У деяких місцях вона

занурюється під товщу пісків, що дозволяє умовно виділити три її частини: північну, центральну та південну. Довжина кожної з них – 7, 10,5 та 2 км відповідно.

Породи даної формації часто брекчіювані, мартитизовані й лімонітизовані. Дана структура є досить перспективною для освоєння її як родовища залізних руд, оскільки вміст феруму *in-situ* становить близько 32–33 %. Головними промисловими мінералами для видобутку заліза є магнетит, гематит і мартит.

Ураховуючи факт, що в межах даної формації спостерігалось декілька аномалій радіаційного фону, було проведено спектральний аналіз на вміст урану. За результатами даного аналізу встановлено, що залізисті кварцити мають відмінний вміст урану в різних частинах даної структури. Більш змінені структурно та хімічно зразки з прирозломних зон, брекчіювані та мартитизовані мають підвищений вміст урану від 41 до 132 ppm. Ті залізисті кварцити, які зберегли ознаки первинної шаруватої текстури, демонструють незначний вміст урану від 1,4 до 3,9 ppm у межах його кларка. Підвищені концентрації урану характерні для всієї структури і виявляються в усіх її частинах: у північній (до 132 ppm), центральній (до 93,6 ppm) і південній (до

99 ppm) і залежать в основному від ступеня структурних і хімічних змін залізистих кварцитів.

Калькрети. Третім типом порід, які дають аномалії в процесі проведення радіометричної зйомки, були осадові породи. У ході детального дослідження цих порід було виявлено, що вони характеризуються наявністю карбонатних включень, так званих калькрет – багатих карбонатами утворень, що формуються на поверхні землі в посушливих регіонах у результаті випаровування ґрунтових вод або в мілководних басейнах. Вони візуально вирізнялися також зонами жовтуватого кольору, що могло свідчити про наявність у них уранових мінералів, для яких цей колір є досить характерним.

За результатами рентгеноспектрального аналізу було встановлено, що калькрети мають вміст урану від 485 до 1149 ppm. За результатами мікрзондового дослідження основним мінералом-концентратором урану в калькретах є тюямуніт ($\text{Ca}[\text{UO}_2]_2[\text{V}_2\text{O}_8] \times 8\text{H}_2\text{O}$). Для утворення даного мінералу, як видно з формули, необхідно джерело урану та ванадію. Ураховуючи попередні дослідження пегматитів і гранітоїдів, в яких було зафіксовано підвищені концентрації урану, можна вважати, що ці породи є корінними, і саме з них уран був винесений та перевідкладений у вигляді тюямуніту (рис. 2).

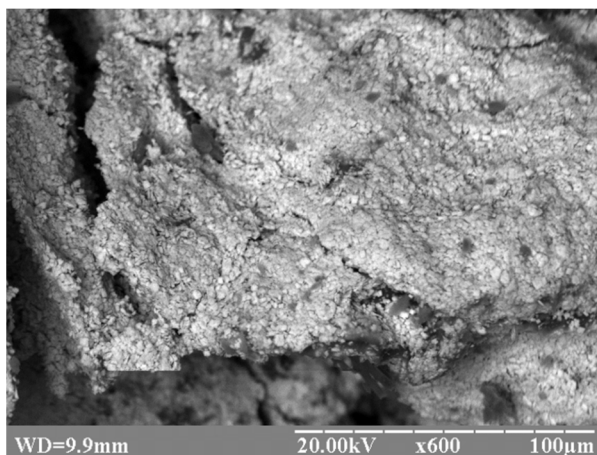


Рис. 2. Землиста морфологія мінеральних виділень під електронним мікроскопом у режимі відбитих електронів

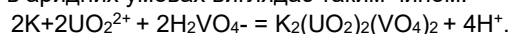
За результатами польових і лабораторних досліджень було встановлено, що уранова мінералізація, яка представлена мінералом тюямунітом, має такі особливості:

- уранова мінералізація поширена не в усіх зразках калькрет з регіону досліджень;
- зони поширення уранової мінералізації можуть бути оточені значними безрудними карбонатними агрегатами, що вказує на неоднорідність у структурі калькрет;
- тюямуніт, знайдений в рудоносних калькретах, концентрується ближче до їхньої поверхні й утворює там агрегати земистої морфології виділення;
- немає чіткої кореляції вмісту тюямуніту з глибиною залягання калькрет, в яких він концентрується (Virshylo et al., 2020);
- зони мінералізації мають горизонтально витягнуту форму, яка, проте, є неоднорідною і може перериватися в певних ділянках.

Як відомо, уран переноситься в шестивалентному стані як ураніл-іон – UO_2^{2+} чи $\text{UO}_2(\text{OH})^+$. На розчинність урану сильно впливає наявність CO_3^{2-} відповідно до формування дікарбонатних $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}^{2-}$ або трикарбонатних $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ комплексів, які є надзвичайно важливими на початкових етапах існування розчину.

Ванадій є відносно розчинним як у чотирьохвалентній, так і п'ятивалентній формі за широких значень pH розчинів.

Хімічна реакція утворення мінералів групи карнотиту в аридних умовах виглядає таким чином:



Дана реакція може проходити таких фізико-хімічних умов (Mann and Deutscher, 1978):

- 1) pH розчинів міститься в межах 5,0–7,0;
- 2) окиснювальне середовище;
- 3) високі концентрації іонів UO_2^{2+} та $2\text{H}_2\text{VO}_4^-$, які достатні для випадіння мінералів групи карнотиту;
- 4) низький вміст карбонат-іонів.

Для відтворення умов формування уранового зруденіння калькретового типу в межах ділянки Оум-Деруа пропонується наявність таких геологічних факторів:

- присутність материнських порід, що є джерелом урану, таких як пегматити та гранітоїди терейну Тазіаст-Тіджіріт;
- наявність багатих залізом порід залізо-кремністої формації Лебтенія як джерело ванадію;
- утворення палеодолин або палеорусел, в яких концентруються калькрети, характерні для ділянки Оум-Деруа (рис. 3).

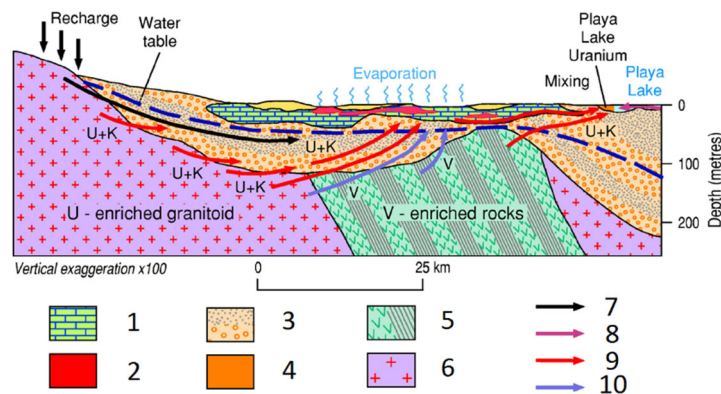


Рис. 3. Схема утворення уранових родовищ калькретового типу в умовах аридного клімату (Liu and Jaireth, 2011):

- 1 – осадові породи з калькретами; 2 – осадові породи палеодолин;
4 – уранова мінералізація в озерних відкладах; 5 – вулканогенні породи залізо-кременистої формації;
6 – гранітоїди; 7 – рух атмосферних вод; 8 – рух озерних вод; 9 – міграція урану та калію; 10 – міграція ванадію

Ураховуючи наведені вище умови утворення калькрет в аридному кліматі, наявність сприятливих геологічних структур і комплексів порід, які можуть служити джерелом урану для екзогенних родовищ, вважається доцільним продовжити пошуки рудопроявів урану калькретового типу в межах західної частини терейну Тазіаст-Тіджіріт.

Висновки. Уранова мінералізація локалізується у трьох різновидах: а) у гранітоїдах і пегматитах; б) вторинна в залізистих кварцитах залізо-кременистої формації; в) у калькретах пухких четвертинних відкладів. Установлено генетичний зв'язок уранової мінералізації в гранітоїдах і калькретах ділянки Оум-Деруа. Простежено геологічні фактори та фізико-хімічні умови, необхідні для утворення уранового зруденіння калькретового типу в межах ділянки Оум-Деруа, а саме:

1. Наявність материнських порід, що є джерелом урану, таких як пегматити та гранітоїди терейну Тазіаст-Тіджіріт.

2. Наявність порід залізо-кременистої формації Лебтенія, які можуть служити джерелом ванадію для мінералізації тьямунітового типу.

3. Наявність палеодолин або палеорусел, в яких концентруються калькрети, характерні для ділянки Оум-Деруа.

Визначено речовинний склад і особливості поширення уранової мінералізації в калькретах: уранова мінералізація поширена не в усіх зразках калькрет із регіону досліджень; головним мінералом-концентратом урану в калькретах є тьямуніт; зони поширення уранової мінералізації можуть бути оточені значними безрудними карбонатними агрегатами, що вказує на неоднорідність у структурі калькрет; тьямуніт концентрується ближче до поверхні калькрет і утворює там агрегати землистої морфології виділення; відсутня чітка кореляція вмісту тьямуніту з глибиною залягання калькрет, в яких він концентрується.

Список використаних джерел

- Сидорчук, В. (2015). Уранова мінералізація в пегматитах Регібатського щита (терейн Тазіаст-Тіджіріт), Мавританія. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (70), 64–68.
- Bessoles, B. (1977). *Geologie de l'Afrique – Le craton Ouest Africain*. Memoire B.R.G.M., France, 88.
- Chardon, D. (1997). Les déformations continentales archéennes. Exemples naturels et modélisation thermomécanique. *Mémoires de Géosciences Rennes*, 76, 257.
- Dillon, W.P., Sougy, J.M.A. (1974). *Geology of West Africa and Canary and Cape Verde Islands*. In: Nairn A.E.M., Stehli F.G. (Eds.). *The Ocean Basins and Margins*. Springer, Boston, MA.
- Fernette, G.L. (2015). Uranium in the Islamic Republic of Mauritania (phase V, deliverable 81), chap. N of Taylor, C.D., ed., *Second projet de renforcement institutionnel du secteur minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II): U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1280-N*.

Key, R.M., Loughlin, S.C., Horstwood, M.S.A., Gillespie, M., Pitfield, P.E.J., Henney, P.J., Crowley, Q.G., Del Rio, M. (2008). Two Mesozoic Terranes in the Reguibat shield of NW Mauritania. *Geological Society of London Special Publication*, 297, 33–52.

Liu, S. F., Jaireth, S. (2011). Exploring for calcrete-hosted uranium deposits in the Paterson region, Western Australia. *Geoscience Australia Record*, Issue No. 103. Available at: <http://www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews201109/exploring.jsp>.

Mann, A.W., Deutscher, R.L. (1978). Genesis principles for the precipitation of carnotite in calcrete drainages in Western Australia. *Economic Geology*, 73 (8), 1724–1737.

Menchikoff, N. (1949). *Quelques traits de l'histoire géologique du Sahara occidental*. Livre jubilaire Charles Jacob, Annales He'bat et Haug, 7, 303–325.

Virshylo, I., Zagnitko, V., Kravchenko, D., Andreev, O., Kurylo, M. (2020). Geostatistical assessment and resource classification of the Oum Dheroua (Islamic Republic of Mauritania) strontium-uranium surficial type occurrence. *Proceedings of XXth International Multidisciplinary Scientific geoconference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020, Albena, Bulgaria*.

References

- Bessoles, B. (1977). *Geologie de l'Afrique – Le craton Ouest Africain*. Memoire B.R.G.M., France, 88. [in French]
- Chardon, D. (1997). Les déformations continentales archéennes. Exemples naturels et modélisation thermomécanique. *Mémoires de Géosciences Rennes*, 76, 257. [in French]
- Dillon, W.P., Sougy, J.M.A. (1974). *Geology of West Africa and Canary and Cape Verde Islands*. In: Nairn A.E.M., Stehli F.G. (Eds.). *The Ocean Basins and Margins*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-3033-2_10.
- Fernette, G.L. (2015). Uranium in the Islamic Republic of Mauritania (phase V, deliverable 81), chap. N of Taylor, C.D., ed., *Second projet de renforcement institutionnel du secteur minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II): U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1280-N*. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20131280>.
- Key, R.M., Loughlin, S.C., Horstwood, M.S.A., Gillespie, M., Pitfield, P.E.J., Henney, P.J., Crowley, Q.G., Del Rio, M. (2008). Two Mesozoic Terranes in the Reguibat shield of NW Mauritania. *Geological Society of London Special Publication*, 297, 33–52. <https://doi.org/10.1144/SP297.3>.
- Liu, S. F., Jaireth, S. (2011). Exploring for calcrete-hosted uranium deposits in the Paterson region, Western Australia. *Geoscience Australia Record*, Issue No. 103. Available at: <http://www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews201109/exploring.jsp>.
- Mann, A.W., Deutscher, R.L. (1978). Genesis principles for the precipitation of carnotite in calcrete drainages in Western Australia. *Economic Geology*, 73 (8), 1724–1737. doi: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.73.8.1724>.
- Menchikoff, N. (1949). *Quelques traits de l'histoire géologique du Sahara occidental*. Livre jubilaire Charles Jacob, Annales He'bat et Haug, 7, 303–325. [in French]
- Sydorchuk, V. (2015). Uranium mineralization in pegmatites of the Reguibat shield (Tasiast-Tijirit terrane), Mauritania. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (70), 64–68. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.70.11>. [in Ukrainian]
- Virshylo, I., Zagnitko, V., Kravchenko, D., Andreev, O., Kurylo, M. (2020). Geostatistical assessment and resource classification of the Oum Dheroua (Islamic Republic of Mauritania) strontium-uranium surficial type occurrence. *Proceedings of XXth International Multidisciplinary Scientific geoconference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2020, Albena, Bulgaria*. DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s03.016

Надійшла до редколегії 16.06.21

V. Sydoruk, Leading Engineer,
E-mail: sydvit@gmail.com,
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine,
34, Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine;
V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,
E-mail: zagnitkow@i.ua,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022

LOCALIZATION FEATURES OF URANIUM MINERALIZATION IN THE TASIAST-TIJIRIT TERRANE, THE REGUIBAT SHIELD

The Reguibat Shield is an area of intensive uranium exploration and about 80 ore occurrences have been discovered in recent decades within its borders. The region of the study is located within the Tasiast-Tijirit terrane, which represents a northwestern part of Archean domain of the Reguibat Shield. The rocks of the terrane are of Mesoarchean age. The main types of rocks are migmatites, gneisses and amphibolites, greenstone associations, granitic intrusions and pegmatites.

Samples of pegmatites, granites, ferruginous quartzites and sedimentary rocks that showed an increased radiation level after conducting a ground-based radiometric survey were selected for laboratory studies from the host rocks of the Tasiast-Tijirit terrane. The following types of laboratory analyses were used for the study: 1) spectral analysis by laser-luminescence method to determine the uranium content in samples; 2) atomic emission spectroscopy for the general estimation of concentrations of chemical elements in samples; 3) X-ray fluorescence analysis to determine the chemical composition of samples and its trace elements; 4) electron microprobe analysis to determine the morphology of mineralization and the chemical composition of uranium minerals.

Among the Tasiast-Tijirit terrane rocks the increased uranium content was found in the following rock associations: pegmatites and granites; ferruginous quartzites within the banded iron formation; calcretes in sedimentary rocks.

According to the results of field and laboratory studies, the main factors of the localization of uranium mineralization in calcretes of the Oum-Dherua area were established. The main geological, physical and chemical conditions essential for the formation of uranium mineralization of the calcrete type within the study region were established.

It was found that granites and pegmatites could provide source of uranium for ore mineralization in sedimentary formations, such as surficial and calcrete types. The latter are studied and mined quite intensively in the world including the Reguibat Shield.

The study results show the high potential for prospecting and exploration of new uranium occurrences within the Tasiast-Tijirit terrane.

Keywords: uranium mineralisation, granites, pegmatites, calcrete, Reguibat Shield.

В. Сидорчук, вед. инж.,
E-mail: sydvit@gmail.com,
Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени М.П. Семененка НАН Украины,
Пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, 03680, Украина;
В. Загнитко, д-р геол.-минерал. наук, проф.,
E-mail: zagnitkow@i.ua,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии",
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРЕЙНА ТАЗИАСТ-ТИДЖИРИТ, РЕГИБАТСКИЙ ЩИТ

Регибатский щит является территорией активной разведки урана, и за последние десятилетия в его пределах было открыто около 80 рудопроявлений. Исследования проводились в пределах террейна Тазиасть-Тиджирит, который представляет собой северо-западную часть архейского блока Регибатского щита. Порода данного террейна имеют мезоархейский возраст. Основными типами пород являются мигматиты, гнейсы и амфиболиты, зеленокаменные ассоциации, интрузии гранитоидов и проявления пегматитов.

Для выполнения лабораторных исследований из коренных пород террейна Тазиасть-Тиджирит были отобраны образцы пегматитов, гранитоидов, железистых кварцитов и рыхлых отложений, которые имели повышенный радиационный фон по результатам наземной радиометрической съемки. В ходе работы были использованы следующие виды лабораторных исследований: 1) спектральный анализ лазеро-люминесцентным методом для определения содержания урана в пробах; 2) атомно-эмиссионный спектральный анализ для оценочного определения концентраций химических элементов в пробах; 3) рентген-флуоресцентный анализ для определения химического состава проб и элементов-примесей; 4) рентгеноспектральный (микронзондовый) анализ для определения морфологии зерен и элементного состава урановых минералов.

Среди пород террейна Тазиасть-Тиджирит повышенное содержание урана было обнаружено в следующих ассоциациях пород: пегматиты и гранитоиды; железистые кварциты в пределах железо-кремнистой формации; калькреды в осадочных породах чехла.

По результатам полевых и лабораторных исследований были определены особенности локализации урановой минерализации в калькретах участка Оум-Деруа. Были прослежены основные геологические и физико-химические условия формирования, необходимые для образования уранового оруденения калькретового типа в пределах региона исследований.

Установлено, что гранитоиды и пегматиты могли быть источником урана, необходимого для формирования урановой минерализации в осадочных формациях, например песчаных и калькретовых. Последние довольно активно изучаются и добываются в мире, в частности, в пределах Регибатского щита.

Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале террейна Тазиасть-Тиджирит для поиска и разведки новых урановых рудопроявлений.

Ключевые слова: урановое оруденение, гранитоиды, пегматиты, калькреды, Регибатский щит.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 552.556

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.12>И. Тагиев, канд. геол.-минерал. наук, доц.,
E-mail: taghiyev.islam@gmail.com;В. Керимов, канд. геол.-минерал. наук, доц.,
E-mail: vagifkerimov1968@gmail.com;Д. Шарифов, ст. препод.,
E-mail: sherifov.1958@mail.ru;Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
пр. Азадлыг, 34, г. Баку, Az 1101, Азербайджан**ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВОВ
БОЛЬШОГО, МАЛОГО КАВКАЗА И ТАЛЫША (АЗЕРБАЙДЖАН)
С УЧЕТОМ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)*

Многие считают, что климатические модели и предсказания носят вероятностный характер. Изменения климата глобальны, они происходят повсеместно на нашей планете и касаются каждого государства, не зависимо от того, на каком расстоянии они находятся друг от друга. Большое влияние на формирование климата Азербайджанской республики оказывают Каспийское море и горные массивы. Глобальное потепление приводит к резкому изменению гидрологических и гидрогеологических условий, влияющих на запасы и физико-химические свойства подземных водных ресурсов.

Характеристика климатических зон показывает их тесную связь с характером рельефа и с гипсометрическим положением местности над уровнем моря. Выпадение осадков в основном происходит в холодное полугодие в виде снега, таяние которого становится причиной бурных весенних половодий на реках, высокой испаряемости и достаточной относительной увлажненности. В этой связи представляется важным уточнение влияния рельефа и близости Каспийского моря на различия в распределении температуры воздуха, атмосферных осадков и других элементов климата.

Грунтовые воды в пределах Большого, Малого Кавказа и Талыша имеют повсеместное распространение на территории республики. На Большом Кавказе они в основном приурочены к галечникам Кусарской свиты (QIV). В пределах Хвалынской, Хазарской, Бакинской и Кусарской свит глинистые прослои разделяют общий поток грунтовых вод на несколько горизонтов напорных вод. Такая же закономерность наблюдается на Малом Кавказе и Талыше.

Увеличение средней глобальной температуры вызывает различные побочные эффекты, подъем или снижение уровня воды, увеличивает частоту экстремальных погодных явлений, что в конечном итоге влияет на все элементы гидрологической речной системы и на подсчитанные промышленные запасы подземных вод. С этой целью представляется важным изучение изменения климата, характера распределения осадков, вегетационного периода растений, водородного показателя pH и др.

Одной из главных причин усиления парникового эффекта, способствующего глобальному потеплению, является обезлесение, негативно влияющее на круговорот воды, прекращение процесса транспирации. Поэтому необходимо активное участие в процессе снижения выбросов CO₂ в увеличении лесных массивов, снижении загрязнения водных ресурсов, а также переход на нетрадиционные виды энергии: солнечную и ветровую, внедрение альтернативной энергии месторождений термальных вод.

Ключевые слова: изменение климата, Малый Кавказ, Талышская зона, Каспийское море, гидрогеологические массивы, минеральные воды, горные массивы, родники.

Постановка проблемы. Глобальное изменение климата, начиная с 70-х гг. прошлого века, превратилось в одну из наиболее острых проблем мировой экономики и политики. Этот вопрос рассматривался на уровне ООН, были приняты несколько международных конвенций, однако принятые решения не были претворены в жизнь, так как носили рекомендательный характер.

Коронавирус – Covid-19 – поставил под угрозу стабильное развитие мировой экономики, нарушилась жизнь населения планеты. Однако мировая проблема, связанная с опасной инфекцией, научила страны вместе бороться с ней. Есть надежда, что после пандемии страны начнут также оберегать природные ресурсы, атмосферу, гидросферу и биосферу, доведут до минимума последствия глобального изменения климата (Алексеев, 2020).

В основном, в связи с изменением климата было установлено, что годовой сток рек южного и северо-восточного склонов Большого Кавказа и некоторых рек Малого Кавказа увеличивается, а в Талыш-Ленкоранской зоне и на территории Нахичеванской АР – уменьшается. В результате изменения климата и антропогенных факторов на некоторых гидрологических пунктах рек по сравнению с предыдущим периодом сток уменьшился почти на 15–16 % (1,64–1,70 км³).

С каждым годом по гидрогеологическим регионам снижается уровень грунтовых вод и дебиты скважин, есть много фактов высыхания водных скважин.

В настоящее время принимаются меры по оптимизации управления водными ресурсами, уточняются данные об их количественных и качественных показателях (Бондаренко и др., 2018; Гладилицкова, 2017).

Контроль над водными ресурсами Азербайджана будет осуществляться в электронном порядке, что нашло отражение в Положении информационной системы "Электронное водное хозяйство", утвержденного Указом Президента республики от 13 февраля 2021 г. Эта система обеспечит электронизацию годового баланса водного хозяйства, осуществление контроля в электронном порядке над оцениванием водных ресурсов на основных водно-хозяйственных объектах страны и эксплуатацией субартезианских скважин.

Система предусматривает автоматизацию сбора, обработки, хранения и поиска информации с целью повышения эффективности использования водных ресурсов, что будет способствовать усовершенствованию их учета и управления, а также созданию оперативной координации в этой сфере.

Анализ последних исследований и публикации. Всесторонне проанализированы материалы гидрогеологических исследований, проведенных на территории только Большого Кавказа и Талыша. Поисковые и разведочные работы на значительной территории Малого Кавказа за последние 30 лет не проводились, что связано с оккупацией территории ряда районов Карабаха со стороны Армении.

© Тагиев И., Керимов В., Шарифов Д., 2021

В связи с недостатком питьевых и оросительных вод и освобождением захваченных территорий в текущем году Министерством экологии и природных ресурсов предусматривается значительно увеличить научно-исследовательские и поисково-разведочные работы по изучению гидрогеологических условий в указанных регионах с учетом влияния глобальных изменений климата.

Более половины территории Азербайджана занимают горы, относящиеся к системе Большого Кавказа на севере и Малого Кавказа на западе и юге-западе. Вместе с Талышскими горами они охватывают Кура-Араксинскую низменность (*Груза и Ранькова, 2004; Керимов и др., 2020*).

Высокогорная зона Большого Кавказа отличается резкой расчлененностью рельефа, наиболее высокими точками являются: Базар-Дюзу (Зафар) (4480 м), Тфан (4191 м), Молкимуд (3875 м), Гутон (3650 м) и Бабадаг (3682 м).

Сложное геологическое и тектоническое строение Малого Кавказа и его значительная расчлененность обуславливает наличие большого количества межгорных котловин и равнин разной величины и различного ориентирования. Малый Кавказ, протяженностью 600 км, от Большого Кавказа отличается отсутствием главного осевого хребта, меньшими абсолютными отметками вершин (не более 4000 м), резким эрозийным расчленением и незначительным проявлением совершенного оледенения.

Наиболее значительны по размеру Карабахская и Нахичеванская котловины выделяются как самостоятельный гидрогеологический район.

Горный Талыш и Ленкоранская низменность расположены в юго-восточной части Азербайджана, они отделены от Малого Кавказа долиной Аракса.

Горная зона образует систему параллельных хребтов СЗ-ЮВ простирания, постепенно снижающихся с запада на восток к морю, на юго-западе тянется наиболее высокий Талышский хребет с вершинами Кемюрская (2477 м), Кызюрды (2438 м.) и Шандан-Галасы (1817 м). На его юго-восточных склонах берут свое начало реки Виляшчай, Ленкоранчай и др. (*Rosenzweig, 2016; Клиге и Хлыстова, 2012*).

Описываемые выше горные системы характеризуются различными геолого-тектоническими, гидрогеологическими и физико-географическими условиями. Гидрогеологические уровни всех водоносных горизонтов и комплексов примерно повторяют современный рельеф поверхности. Чем ближе к поверхности земли залегает горизонт, тем отчетливее выявляется его связь с поверхностными стоками.

Основным базисом всего континентального стока республики является Каспийское море. И в то же время подземные воды направляются с возвышенностей в синклинальные понижения и к долинам рек. В горных районах при наличии вертикальной климатической зональности основное количество осадков в разной степени пополняют ресурсы подземных вод. Особенно в зонах конусов выноса происходит интенсивное поглощение поверхностного стока и его трансформация в подземные воды.

Формулировка целей статьи. Несмотря на то, что в течение последних лет заметно повысилась температура воздуха и изменились другие важные показатели атмосферы, до сих пор не приняты достаточные меры по предотвращению прогнозируемых метеорологических угроз. Сущность проблемы состоит в том, что государства обязаны совместно разработать и согласовать единую программу по защите окружающей среды, особенно рационального использования водных ресурсов трансграничных рек.

Вызванные изменением климата нарушения гидрологического цикла требуют снижения напряженности

между тремя республиками Закавказья, географически расположенными в верховьях и низовьях рек.

Достаточно отметить, что из-за резкого снижения уровня р. Куры в мае 2020 и 2021 гг. в дельте реки воды Каспийского моря смешались с речными, что привело к проблемам с питьевой водой в Нефтечалинском районе (*Керимов и др., 2020; Тагиев, 2001*). После смешивания вод Куры и Каспия, речная вода на расстоянии 15–20 км стала соленой, из-за чего было приостановлено орошение засеянных территорий.

Следует отметить, что Кура самая большая река на южном Кавказе и никогда не пересыхала естественным образом. Падение уровня Куры, связанное с заполнением расположенной в Грузии гидроэлектрической станции Мтыквери, будет влиять на естественный растительный покров вокруг реки, высока вероятность высыхания тугойных лесов, ожидается негативное влияние на сельское хозяйство. Вопрос водопользования р. Куры и Аракса очень серьезный и определяет государственные и экономические интересы нескольких республик Закавказья.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Ресурсы поверхностных и подземных вод территории Азербайджана отличаются исключительным разнообразием. Почти 50 % территории занимают горные системы, иногда с поясом вечных снегов и льдов. В республике имеются богатые ресурсы минеральных и термальных вод, используемых в основном в лечебных целях в туристических и оздоровительных центрах. Ресурсы пресных вод по сравнению с соседними республиками (Арменией и Грузией) ограничены. Так, в расчете на душу населения поверхностный сток в Азербайджане в 5–6 раз меньше, чем в соседней Грузии (*Тагиев и Бабаев, 2017; Тагиев и др., 1996*).

Закономерности распространения подземных вод, их динамика, ресурсы и другие гидрогеологические параметры изучены и уточнены в целом 20–30 лет тому назад. Но в связи с процессом глобального изменения климата, возникает потребность уточнения всех показателей поверхностных и подземных вод.

Эти изменения требуют, чтобы все страны в ближайшие годы обеспечили надежную защиту окружающей среды, снабдили свое население качественной питьевой водой, улучшили качество воды оросительных систем в соответствии с действующими стандартами и т. д.

Ресурсы поверхностных вод Азербайджана составляют 19 млрд м³, включая 10 млрд м³ дополнительных трансграничных вод. Запасы подземных вод изменяются в пределах 8,5–9,0 млрд м³, однако необходимо отметить, что эти ресурсы и промышленные запасы снизились почти на 20 %.

Изложение основного материала. Из-за сложности и своеобразия физико-географических условий Азербайджан является высокочувствительным к изменениям климата, и во многих регионах эти изменения привели к сокращению водных ресурсов рек и подземных вод. Естественно, водные ресурсы, речные стоки, ледники являются прямыми индикаторами изменения регионального климата.

В Азербайджане ледники в основном расположены на Большом Кавказе, на высотах Шахдаге, Базардюзю и Тугандаге. По данным стационарных, экспериментальных дешифровок спутниковых исследований метеорологической службой Министерств экологии и природных ресурсов, установлено, что за последние 3–4 года уменьшение площади ледников составило более 1 %.

На климат республики основное влияние оказывают географическое положение, рельеф и Каспийское море. В Азербайджане насчитывается 9 природно-климатических зон из 11 типов климата. Средняя температура июля колеблется от –1 °С в высокогорных

до +28 °C в низменных районах, а в январе она составляет соответственно от –22 °C до +5 °C.

Влажный субтропический климат наблюдается только в пределах Талышских гор. Умеренный климат, наблюдающийся на большей части покрытых лесами

возвышенностях Большого и Малого Кавказа, делится на сухой, умеренно-теплый сухой, умеренно-теплый влажный и холодный (Тагиев и Бабаев, 2017). Холодный климат наблюдается на высоких горных хребтах Большого и Малого Кавказа (рис. 1).

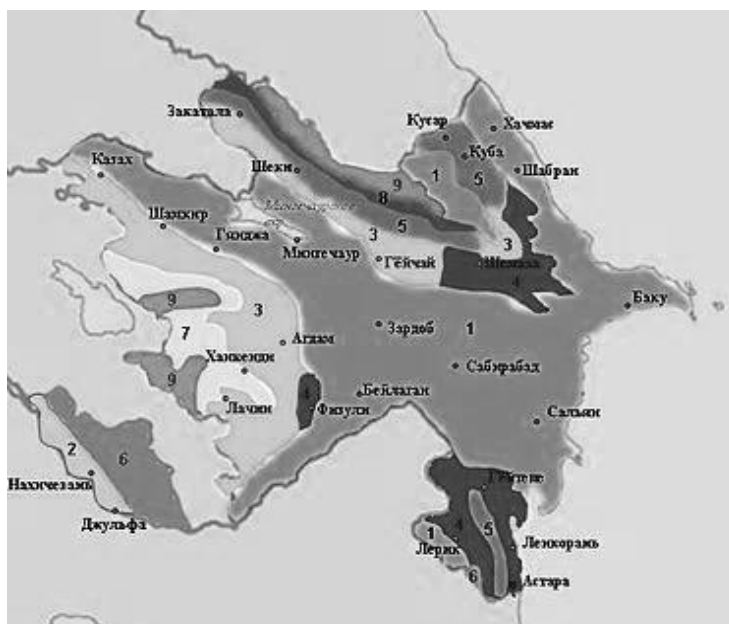


Рис. 1. Типы климата Азербайджана:

- 1 – климат полупустынь и сухих степей с умеренной зимой и сухим жарким летом;
- 2 – климат полупустынь и сухих степей с холодной зимой и сухим жарким летом;
- 3 – умеренно тёплый климат с умеренной зимой; 4 – умеренно тёплый климат с сухим летом;
- 5 – умеренно тёплый климат с равномерным распределением осадков; 6 – холодный климат с сухим летом;
- 7 – холодный климат с сухой зимой; 8 – холодный климат с большим количеством осадков; 9 – горный климат тундр

На территориях вдоль Каспийского моря (приблизительно 20 км от Каспия) температура воздуха к лету несколько понижается, а зимой напротив – повышается. Здесь, в определенной степени, температуру смягчает влияние поступающих из Центральной Азии жарких и сухих потоков воздуха.

Количество осадков, их сезонное и годовое распределение определяют рельеф территории и близость Каспийского моря. В горах осадки до определенной высоты (на Большом, Малом Кавказе и Нахичеванской АР – 2600–3000 м, в Талышских горах – 200–600 м) увеличиваются, затем постепенно уменьшаются.

Каспийское море играет важную роль в формировании климата, который является основным фактором, оказывающим влияние на гидрогеологические ресурсы поверхностных и подземных вод. Одной из особенностей Каспийского моря – изменение его уровня, причиной которого являются колебания стока рек, деформация дна (Иманов и Алекбаров, 2017).

Исследование глобальных изменений климата Южного Кавказа, в том числе на территории Азербайджана, является важным заданием, поскольку эти изменения уже сегодня наносят ущерб стабильному развитию страны, в частности водным ресурсам и орошению земель.

Гидрогеологические массивы в пределах Альпийского горного сооружения представляют собой сложные водонапорные системы, где циркуляция подземных вод происходит преимущественно по трещинам различного генезиса, и в рыхлых накоплениях у подножий склонов и в долинах. Хорошая водопроницаемость галечников, их большая мощность и высокое гипсометрическое положение создают благоприятные условия для быстрой инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод на большую глубину до водоупорного горизонта (рис. 2).

Регион Южного Кавказа выделяется политическими конфликтами, и это обстоятельство непосредственно сказывается на всех основных показателях поверхностных и подземных вод. Поскольку Армения и Азербайджан почти 30 лет находятся в состоянии войны, любая трансграничная проблема политизируется, в том числе и проблема водных ресурсов. Между тем, от этого страдают все страны в равной степени, поскольку специфика трансграничных проблем состоит в том, что их невозможно решать усилиями одного государства.

Большой Кавказ. Альпийское горно-складчатое сооружение Большого Кавказа занимает северную часть Кавказского перешейка и простирается от Таманского до Апшеронского полуострова на расстояние 1300 км при максимальной ширине 150 км.

Разнообразие рельефа и близость Каспийского моря обуславливают различия в распределении температуры воздуха, атмосферных осадков и других элементов климата, а также его ярко выраженную вертикальную зональность.

В горной части рассматриваемых районов выделены водоносные зоны, приуроченные к трещиноватым породам, а в четвертичных отложениях преимущественно – к пористым коллекторам. Здесь развиты родники с дебитами до 5–10, реже до 20–25 л/с, очевидно частично дренирующие водоносные зоны трещиноватости коренных пород (Тагиев и Бабаев, 2017).

У подножий склонов распространен водоносный горизонт алювиально-делювиально-пролювиальных отложений, из которых берут свое начало родники с дебитами до 1 л/с. Весьма водообильны четвертичные алювиальные осадки, мощность которых достигает в отдельных долинах 100 м и более, сложенные гравийно-галечниками с песчаным заполнителем, с коэффициентами фильтрации до 80–90 м/сут. Воды родников, вытекающих из рыхлообломочных

четвертичных отложений, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого и реже гидрокарбонатно-кальциево-натриевого состава (рис. 3).

В данном регионе, представленном глыбовыми конгломератами (Чухурюрдская антиклиналь), в трещиноватых песчаниках и известняках дебиты

сероводородных вод в естественных выходах и в пробуренных скважинах составляют от 0,1–1 л/с. Плотный остаток составляет 0,3–1,3 г/л дм³, по составу воды гидрокарбонатные натриевые и гидрокарбонатные кальциевые. Вода содержит (мг/л дм³): CH₄– 0,4–3,0; H₂S – 0,6–6,3; CO₂ – 20.



Рис. 2. Картограмма Куринаского речного бассейна

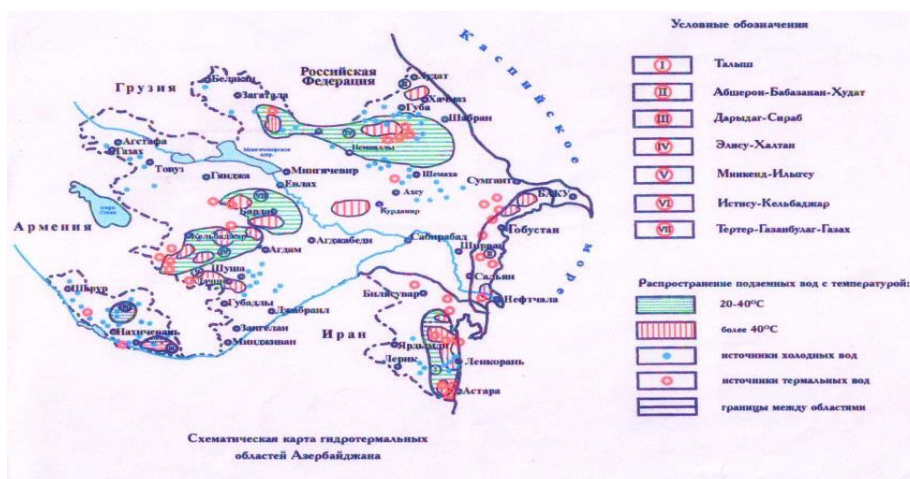


Рис. 3. Схематическая карта гидротермальных областей Азербайджана

Также здесь к верхнеюрским отложениям приурочены выходы термальных вод со следующими характеристиками:

Халтанское – температура 46,8–47,8 °С; дебит 0,93–1,73 л/с;

Хашинское – температура 37,0–40,8 °С; дебит 1,66–1,85 л/с;

Джиминское – температура 34,4–42,0 °С; дебит 0,02–0,10 л/с

В прикаспийско-хачмазской зоне в юрском комплексе скважинами № 20, 112, 11, 10 и 116 (площадь Худат) в интервалах 2246–2978 м вскрыты термальные воды с температурой 46–92 °С и дебитами 190–2160 м³/сут.

Малый Кавказ. В пределах республики расположена северо-восточная часть Малого Кавказа, включающая систему Муровдагского, Восточногеокчинского, Зангезурского, Мыхтоканского хребтов и Карабахское вулканическое нагорье.

На Малом Кавказе развит водоносный комплекс плиоценово-четвертичных лавовых образований, на сегодняшний день он изучен недостаточно. Выделяют до пяти лавовых покровов, обладающих повышенной водоносностью пород, которые разделяются

относительно слабопроницаемыми слоями пепла. Дебиты родников сильно зависят от выпадения атмосферных осадков, что предопределяет большую изменчивость родникового стока. Воды лавовых образований обычно ультрапресные с сухим остатком до 0,05 г/л. Преобладающий состав их гидрокарбонатно-кальциевый.

В меловых отложениях Малого Кавказа наиболее обводнены трещиноватые песчаники и закарстованные известняки, в меньшей степени туфогенные образования. Дебиты родников здесь 10–15 л/с, изредка до 100 л/с (южный склон г. Гямыш).

Юрские породы Малого Кавказа представлены вулканогенно-туфогенными образованиями и известняками. Дебиты родников, выходящих из некарбонатных пород, составляют до 0,5 л/с, реже – до 5–10 л/с.

В пределах Малого Кавказа некоторое распространение получили водоносные зоны трещиноватости терригенных и карбонатных формаций триаса, перми, карбона и девона, а также кислых, основных и ультраосновных интрузивных пород. Эти гидрогеологические подразделения обычно залегают на высоких отметках рельефа, часто сдренированы и слабо водообильны.

Месторождение минеральных-термальных вод Верхнего Истису приурочено к зоне главного северо-восточного сброса, трассирующего долину р. Тертер и оперяющих его более мелких нарушений и секущих даек того же направления. Это месторождение относится к типу трещинно-жилых водонапорных систем локального распространения. Формирование углекислых минеральных вод месторождения обусловливается процессами глубинного метаморфизма пород, происходящими, видимо, на глубине около 2000–2300 м.

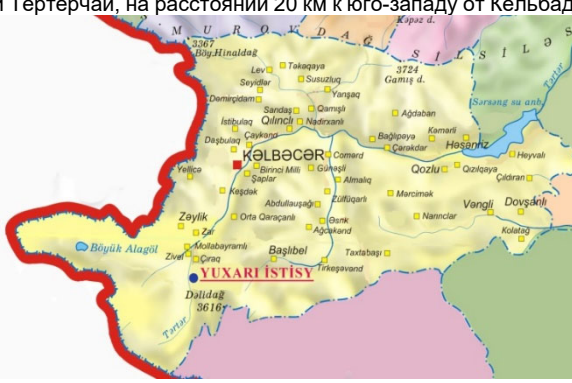
Высокая концентрация выходов минеральных вод приурочена к центральной части горной системы Малого Кавказа, а процесс формирования их химического состава главным образом связан с карбонатными породами. Сложные геолого-структурные регионы, в которых сохраняются следы проявления недавних мощных

вулканических процессов, привели к чрезвычайному обилию углекислых минеральных вод с многообразными условиями циркуляции (Тагиев и Бабаев, 2016; Тагиев и др., 1996).

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что гидродинамические и геохимические свойства подземных, в том числе минеральных вод, в основном определяются характером подземных вод горных массивов со смещенными водоносными горизонтами и фундаментом. Все это обуславливает существование определенных гидродинамических зон, характеризующихся специфическими чертами гидрохимического и гидродинамического режимов – химический состав, минерализация, температура, скорость движения, градиент подземного потока (табл. 1).

Таблица 1

**Основные показатели месторождений минеральных вод Кельбаджарского района Малого Кавказа
(Банк региональной информации)**

№	Основные показатели	Геолого-гидрогеологическая информация
1	Название месторождения	Верхний Истису (Кельбаджарский район)
2	Типы полезных ископаемых	Углекислые – CO ₂ – термальные воды
3	Географические координаты и месторасположение месторождения	В верховьях реки Тертерчай, на расстоянии 20 км к юго-западу от Кельбаджарского района  39°56'49" – С; 45°57'43" – В; Выс. – 2200 м
4	Типы, возраст, геолого-литологический состав и другие показатели водного комплекса	Месторождение приурочено к вулканогенной толще средней юры. Здесь пробурены 6 скважин глубиной 365–700 м, вскрыты термальные воды с температурой 70 °С, дебитами 44–400 м³/сут., суммарный дебит 3200 м³/сут. HCO₃ – 50 %-экв; Ca – 8 %-экв; Na – 40 %-экв; Cl – 34 %-экв; М – 4,4–7,6 г/л

На протяжении последних 30 лет значительная часть территории Малого Кавказа (Нагорный Карабах и окружающие его 7 районов) была оккупирована Арменией, в результате чего пострадали водные ресурсы поверхностных и подземных вод. За это время хищнически эксплуатировался ряд месторождений полезных ископаемых, в том числе золоторудных, наносился огромный ущерб природе и биологическому разнообразию территории, уничтожались лесные массивы. В настоящее время проводятся комплексные работы по восстановлению и заселению освобожденных районов и устранению вышеуказанных негативных явлений.

Глобальные изменения климата приведут к существенным последствиям – к уменьшению ресурсов поверхностных и подземных вод многих стран, в том числе и Azerbaijan, а также сокращению ледников Большого и Малого Кавказа, эрозии земель, аномального изменения уровня Каспийского моря, омывающего северо-восточную часть территории Большого Кавказа.

Талыш. Горный Талыш расположен в юго-восточной части Azerbaijan и отделен от Малого Кавказа долиной р. Аракс.

В северо-восточной и северо-западной частях Талыша, а также на Алашар-Буроварском хребте распространены водоносные зоны трещиноватости осадочных пород миоцена и олигоцена. Дебиты родников изменяются от долей до 1–3 л/с.

Для Талыша характерно, что с увеличением абсолютных отметок местности, начиная с 1000 м, наблюдается постепенное убывание количества выпадающих атмосферных осадков от 1700 до 30–40 мм в год, что сказывается и на величинах подземного стока. Так, на высотах 1200–1400 м значение среднегодового модуля подземного стока Талыша изменяются от 10–20 до 50–100 мм в год, а значение коэффициента подземного стока составляет 5 % (Махмудов, 2014; Rosenzweig, 2016).

В Талыш-Ленкоранской зоне выделяются две группы минеральных вод. Одна из них, находящаяся в восточной части, представлена линией термальных источников Масаллы–Ленкоран–Астара, вторая – Ярдымлы–Лерикской группой источников холодных вод. Первая группа приурочена к линии сопряжения предгорной и низменной областей. Здесь воды горячие и теплые, во многих горизонтах их минерализация постепенно увеличивается.

В пределах Астаринского антиклинория к различным тектоническим разрывным нарушениям приурочены более 30 выходов минеральных вод: Алаша, Сигалини, Тахтакеран, Аг-Керпи, Машхан, Вов, Оджагеран, Арчиван, Янарсу и др. Общий дебит источников Астаринского антиклинория составляет 3,5 млн л/сут., их температура колеблется от 12,4 до 50 °С (Тагиев, 2017; Wang et al., 2017).

В пределах Буроварского антиклинария в различных тектонических разрывных нарушениях в алевроитопесчаном горизонте верхнего эоцена отмечены более 40 выходов минеральных вод: Аркеван, Донузотен, Готурсу, Вияшчай и др. Суммарный дебит источников Буроварского антиклинария составляет 8 млн л/сут., температура воды 16–61 °С.

Минеральные воды в восточной части региона относятся к хлоридному типу, причем на севере они сопровождаются сероводородным и метановым газами, а на юге газовые струи состоят в основном из азота. В северо-западной части минеральные воды – сероводородные, сульфатно-гидрокарбонатные. Такое распределение объясняется геолого-структурными условиями в районе разгрузки подземных вод.

Территория республики по комплексу природных особенностей отличается исключительным разнообразием и характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, обусловленными ее тектоническим строением, неотектоникой, осадконакоплением, литофациальной изменчивостью, климатическими условиями и близостью Каспия. Следует отметить, что в пределах Азербайджанской части Большого Кавказа площадью 23,5 тыс. км² располагаются два крупнейших бассейна высококачественных питьевых вод с запасами порядка 50 км³/с, которые предназначены для водоснабжения города Баку и населенных пунктов всего Апшеронского полуострова до конца XXI века.

Глобальное изменение климата в Азербайджане уже в наши дни является причиной разных типов природных катаклизмов и бедствий:

- местные водные ресурсы Азербайджана составляют 8867 млн м³, что по сравнению с 1972 г. меньше на 1642 млн м³ (15,92 %);
- по ОАО мелиорации и водного хозяйства сброс коллекторно-дренажных вод непосредственно в Каспийское море оценивается в пределах 4 млрд м³;
- суммарный приток речных вод в Каспийское море с территории суши за период 1991–2016 г., с учетом стока по действующей коллекторно-дренажной сети, в среднем составил 18700 млн м³/год. Соответственно общее уменьшение стока в море составило 12200 млн м³/год (с учетом уменьшения уровня Куры и Аракса);
- в 2010 году (май–июнь) в нижней части Кура-Араксинского бассейна на р. Кура сильное наводнение нанесло значительный экономический ущерб (более 500 млн евро), пострадало население, несколько сот домов были полностью разрушены;
- в 1977–1995 годах уровень Каспия поднялся на 2,6 м и соответствовал тогда 26,5 м;
- ежегодно 2–3 района Большого Кавказа, Ленкоранская зона и др. страдают от селей и грязеливных потоков;
- в аридных климатических зонах республики за последние годы происходит развитие процессов опустынивания;
- площадь ледников в Азербайджане составляла 6,6 км², из них 3,62 км² приходилось на вершины Базардюзю (Зафар – 4466 м), 1 км² – Базарюрт (4266 м), 0,51 км² – Туфандаг (4191 м) и 1,47 км² на Шахдаг (4243 м). К 2010 г. площадь ледников сократилось на 45 %. Установлено, что ледники тают со средней скоростью 1,02 км² в год.

Выводы. 1. Водоносные горизонты, приуроченные к породам палеозоя и мезозоя, в основном распространены в горных районах, а палеогеновые и неогеновые отложения – в предгорьях Большого и Малого Кавказа и на Талышских горах. На равнинных зонах республики подземные воды приурочены к мощным толщам

осадочных пород плиоценовых и четвертичных образований.

2. В указанных районах также широко распространены месторождения минеральных и термальных вод (углекислые, сероводородные, азотные, метановые). Количество естественных выходов родников – более 1000. Они выявлены также скважинами, в том числе, пробуренными на нефть и газ. Термальные воды с температурой 50–100 °С распространены в пределах Худат-Хачмазской зоны, Куринской впадины, Малого Кавказа и в Талыш-Ленкоранской зоне.

3. По данным Института географии академии наук и Департамента метрологии, Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджана, на фоне глобального изменения климата существует тенденция изменения динамики аномальных температур в летние месяцы на Апшеронском полуострове и в других аридных климатических зонах. Установлено, что в течение последних 25 лет заметно поднялась температура летних месяцев (июль и август) в этих районах, в результате чего наблюдается увеличение как повторяемости, так и продолжительности так называемых волн жары.

4. Баланс водных ресурсов, в том числе основные гидрогеологические и гидрологические показатели рек, подземных вод, озер, водохранилищ и др., был составлен в основном по данным 35–40 летней давности. За последние годы эти показатели заметно снизились в основном из-за изменения климата и нарушения режима трансграничных рек, что стало причиной значительного уменьшения объема поступающих из соседних стран водных ресурсов. Достаточно отметить, что только за последние пять лет значительно уменьшились объемы воды в водохранилищах. Статистика такова: 2016 г. – 16,5 млрд м³, 2017 г. – 14,2 млрд м³, 2018 г. – 12,1 млрд м³ и 2020 г. – 11,1 млрд м³.

5. В 2018–2020 гг. на территории указанных выше гидрогеологических регионов в десятках скважин наблюдалось снижение дебитов и статического уровня воды, высохли многие реки и произошли другие негативные явления.

6. В настоящее время с учетом глобальных изменений климата с привлечением ученых и специалистов из соответствующих научно-исследовательских институтов, на правительственном уровне принимаются комплексные меры по восстановлению и сохранению водных ресурсов республики.

Список использованных источников

- Алексеев, В.И. (2020). Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Ч. 1–2. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 331, 7, 238–250.
- Бондаренко, Л.В., Маслова, О.В., Белкина, А.В., Сухарева, К.В. (2018). Глобальное изменение климата и его последствия. *Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 2, 84–93. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>
- Вердиев, Р.Г. (2002). Водные ресурсы рек Восточного Кавказа в условиях изменения климата. Баку.
- Геология Азербайджана. (2002). Гидрогеология. Т. VIII. Баку: Nafta-Press.
- Гладильщикова, А.А., Семенов, С.М. (2017). Фундаментальная и прикладная климатология. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК): цикл шестого оценочного доклада. С. 13–25.
- Глобальное потепление на 1,5 °С. (2018). Доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Получено www.meteorf.ru/upload/iblock/f5e/lzmenenie_klimata_N75OctNov_2018.pdf
- Груза, Г.В., Ранькова, Н.А. (2004). Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. Метеорология и гидрология, 4, 50–66.
- Иманов, Ф.А., Алекбаров, А.Б. (2017). Современные изменения и комплексное управление водными ресурсами Азербайджана. Баку.
- Керимов, В.М., Тагиев, А.Ш., Мехтиева, Т.А. (2020). Влияние коллекторно-дренажной системы на мелиоративные условия в Миль-Карабахской равнине. *Экология и водное хозяйство*. АЗМИУ, 1, 50–55.

Керимов, В.М., Тагиев, А.Ш., Ибрагимли, Б.Е. (2020). Оценка гидрогеологического и мелиоративного состояния Сиязанского района. *Экология и водное хозяйство*, АЗМИУ, 1, 68–73.

Клиге, Р.К., Хлыстова, А.И. (2012). Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3. Факторы глобальных изменений. М.: Научный мир.

Махмудов, Р.Н. (2014). Основные гидрометеорологические явления в Азербайджане. Издательство Зия.

Тагиев, И.И. (2001). Ресурсы минеральных и термальных вод Азербайджана. Баку.

Тагиев, И.И. (2001). Состояние и проблемы охраны окружающей среды и природопользования в Азербайджанской Республике. Министерство науки и техники СССР. Москва.

Тагиев, И.И. Исмаилов, Т.А., Алиев, Ф.Ш. (1996). Подземные воды Азербайджанской Республики, их ресурсы, состояние использования и проблемы охраны от загрязнения и истощения. Министерство науки и технического комитета Рос. Фед. Всерос. Институт научной и технической информации (ВИНИТИ), Москва. С. 28–65.

Тагиев, И.И., Бабаев, Н.И. (2015). Современное состояние минеральных и термальных вод Азербайджана и концепция развития бальнеологии и энергетики. *XXII Международная научная конференция. Евразийское научное объединение: итоги науки и практики*, Москва, 81–86.

Тагиев, И.И., Бабаев, Н.И. (2016). Проблемы использования и охраны минеральных вод Азербайджанской ССР. *Известия высших технических учебных заведений Азербайджана*, 2, 7–13.

Тагиев, И.И., Бабаев, Н.И. (2017). Естественный режим источников минеральных вод Азербайджана. *Известия высших технических учебных заведений Азербайджана*, 7–13.

Rosenzweig, R. (2016). Global climate change policy and carbon markets. London: Springer.

Tagiev, I.I., Babaev, N.I. (2017). Some geochemical and hydrogeological, regularities of formation and distribution of mineral waters of Azerbaijan. *XXXIX International Scientific and Practical Conference Actual problems in modern science and ways to solve them*, Moscow, 15–19.

Smith, T.M., Reynolds, R.W. (2003). Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS database NOAA. *Journal Climate*, 16, 1495–1510.

Wang, S., Lee, W., Son, Y. (2017). Low carbon development pathways in Indian agriculture. *Change Adaptation Socio – Ecological Systems*, 3, 18–26.

References

Alekseev, V.I. (2020). Study of changes in the global climate as a complex system using wavelet phase-frequency functions, phase-frequency and phase-time characteristics of heliocosmic and climatic variables. Part 1–2. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of geosciences*, 331, 7, 238–250. [in Russian]

Bondarenko, L.V., Maslova, O.V., Belkina, A.V., Sukhareva, K.V. (2018). Global climate change and its consequences. *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov*, 2, 84–93. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>. [in Russian]

Geology of Azerbaijan. (2002). Hydrogeology. V.VIII. Baku: Publishing House Nafta-Press. [in Russian]

Gladilshchikova, A.A., Semenov, S.M. (2017). Fundamental and Applied Climatology. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Sixth Assessment Report Cycle. P. 13–25. [in Russian]

I. Tagiyev, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
E-mail: taghiyev.islam@gmail.com;

V. Kerimov, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
E-mail: vagifkerimov1968@gmail.com;

J. Sherifov, Senior Lecturer,

E-mail: sherifov.1958@mail.ru;

Azerbaijan Industrial and Oil University,

20 Azadlig Ave., Baku, Az 1101, Azerbaijan

Global warming by 1,5 °C. (2018). Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Retrieved from www.meteorf.ru/upload/iblock/f5e/lzmenenie_klimata_N75OctNov_2018.pdf [in Russian]

Gruza, G.V., Rankova, N.A. (2004). Detection of climate change: state, variability and extremeness of climate. *Meteorology and hydrology*, 4, 50–66. [in Russian]

Imanov, F.A., Alekbarov, A.B. (2017). Modern changes and integrated water resources management in Azerbaijan. Baku. [in Russian]

Kerimov, V.M., Tagiev, A.Sh., Mekhtieva, T.A. (2020). The influence of the collector-drainage system on the reclamation conditions in the Mil-Karabakh plain. Ecology and water management. AZMIU, 1, 50–55. [in Russian]

Kerimov, V.M., Tagiev, A.Sh., Ibrahimli, B.E. (2020). Assessment of the hydrogeological and reclamation state of the Siyazan region. *Ecology and water management*, AZMIU, 1, 68–73. [in Russian]

Klige, R.K., Khlystova, A.I. (2012). Modern global changes in the natural environment. V. 3. Factors of global changes. M.: Scientific world. [in Russian]

Makhmudov, R.N. (2014). Main hydrometeorological phenomena in Azerbaijan. Publishing house Ziya. [in Russian]

Rosenzweig, R. (2016). Global climate change policy and carbon markets. London: Springer.

Smith, T.M., Reynolds, R.W. (2003). Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS database NOAA. *Journal Climate*, 16, 1495–1510.

Tagiev, I.I. (2001). State and problems of environmental protection and nature management in the Republic of Azerbaijan. Ministry of Science and Technology of the USSR. Moscow. [in Russian]

Tagiev, I.I. (2001). Resources of mineral and thermal waters of Azerbaijan. Baku. [in Russian]

Tagiev, I.I., Babaev, N.I. (2015). The current state of the mineral and thermal waters of Azerbaijan and the concept of development of sickness and energy. *XXII International Scientific Conference Eurasian scientific association results of science and practice*, Moscow, 81–86. [in Russian]

Tagiev, I.I., Babaev, N.I. (2016). Problems of the use and protection of mineral waters of the Azerbaijan SSR. *Bulletin of higher technical educational institutions of Azerbaijan*, 2, 7–13. [in Russian]

Tagiev, I.I., Babaev, N.I. (2017). Some geochemical and hydrogeological, regularities of formation and distribution of mineral waters of Azerbaijan. *XXXIX International Scientific and Practical Conference Actual problems in modern science and ways to solve them*, Moscow, 15–19.

Tagiev, I.I., Babaev, N.I. (2017). The natural regime of the sources of mineral waters of Azerbaijan. *Bulletin of higher technical educational institutions of Azerbaijan*, 7–13. [in Russian]

Tagiev, I.I., Ismailov, T.A., Aliiev, F. Sh. (1996). Underground waters of the Azerbaijan Republic, their resources, state of use and problems of protection from pollution and depletion. Ministry of Science and Technical Committee Ros. Fed. Seros. Institute for Scientific and Technical Information (VINITI), Moscow. P. 28–65. [in Russian]

Verdiev, R.G. (2002). Water resources of the rivers Eastern Caucasus in the face of climate change. Baku.

Wang, S., Lee, W., Son, Y. (2017). Low carbon development pathways in Indian agriculture. *Change Adaptation Socio – Ecological Systems*, 3, 18–26.

Надійшла до редколегії 18.02.21

CHARACTERISTICS OF HYDROGEOLOGICAL MASSIVES OF THE GREATER, LITTLE CAUCASUS AND TALYSH (AZERBAIJAN) TAKING INTO ACCOUNT GLOBAL CLIMATE CHANGE

Issues of global warming lead to dramatic changes in hydrological and hydrogeological conditions. The Caspian Sea and mountain ranges have a great influence on the formation of the climate. Many believe that climate models and predictions are probabilistic in nature, but some will think that global climate change is important today. It is necessary to take into account that climate change is global, it occurs everywhere on our planet and affects every state and every person. Purpose: Clarification of the influence of the relief and the proximity of the Caspian Sea which determines the differences and distribution of air temperature, precipitation and other climate elements. The annual amount of precipitation falls in the cold half of the year in the form of snow, the melting of which causes violent spring floods on the rivers, evaporation and sufficient relative moisture. The characteristics of climatic zones show their close relationship with the nature of the relief and with the hypsometric position of the terrain above sea level. Ground waters within the Greater, Lesser Caucasus and Talysh are distributed everywhere. In the Greater Caucasus, there are mainly distributed gravels of the Kusar Formation (QIV), and within the Khvalynskaya, Khazar, Bakinskaya and Kusarskaya formations, clay interlayers divide the general flow of groundwater into several horizons of pressure water, the same pattern also takes place in the Lesser Caucasus and Talysh. Climate change, the nature of precipitation distribution, the growing season of plants, pH-pH, an increase in the average global temperature causing various side effects, the frequency of extreme weather events, a rise or decrease in the water level, ultimately all this affects all elements of the hydrological river systems and calculated industrial reserves of groundwater. Deforestation contributes to global warming and one of the main reasons for the intensification of the greenhouse effect, negatively affects the water cycle, the transpiration process stops. We should participate in the process of reducing CO₂ emissions, pay attention to the increase of forest areas, reduction of water pollution, transfer to unconventional renewable solar and wind power, accelerate the introduction of alternative energy deposits of thermal waters.

Keywords: climate change, Lesser Caucasus, Talysh zone, Caspian sea, hydrogeological massifs, mineral waters, mountain ranges, springs.

I. Taghiyev, канд. геол.-мінерал. наук, доц.,

E-mail: taghiyev.islam@gmail.com;

B. Kerimov, канд. геол.-мінерал. наук, доц.,

E-mail: vagifkerimov1968@gmail.com;

Д. Шариф, ст. викл.,

E-mail: sherifov.1958@mail.ru;

Азербайджанський індустріальний і нафтовий університет,
пр. Азадлиг, 20, м. Баку, Az 1101, Азербайджан

ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ МАСИВІВ ВЕЛИКОГО, МАЛОГО КАВКАЗУ І ТАЛИША (АЗЕРБАЙДЖАН) З УРАХУВАННЯМ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

Багато хто вважає, що кліматичні моделі й передбачення носять імовірнісний характер. Зміни клімату глобальні, вони відбуваються повсюдно на нашій планеті й стосуються кожної держави, незалежно, на якій відстані вони розташовані одна від одної. Великий вплив на формування клімату Азербайджанської республіки мають Каспійське море і гірські масиви. Глобальне потепління призводить до різкої зміни гідрологічних і гідрогеологічних умов, що впливає на запаси і фізико-хімічні властивості підземних водних ресурсів.

Характеристика кліматичних зон показує їхній тісний зв'язок з характером рельєфу та гіпсометричним становищем місцевості над рівнем моря. Випадання опадів в основному відбувається в холодне півріччя у вигляді снігу, танення якого стає причиною бурхливих весняних повеней на річках, високої випаровуваності й достатньої відносної зволоженості. У зв'язку із цим є важливим уточнення впливу рельєфу і близькості Каспійського моря на відмінності в розподілі температури повітря, атмосферних опадів та інших елементів клімату.

Грунтові води в межах Великого, Малого Кавказу і Талиша мають повсюдне поширення на території республіки. На Великому Кавказі вони в основному приурочені до галечників Кусарської свити (QIV). У межах Каспійської, Хазарської, Бакинської й Кусарської світ глинисті прошарки поділяють загальний потік ґрунтових вод на кілька горизонтів напірних вод. Така ж закономірність спостерігається на Малому Кавказі й Талиші.

Збільшення середньої глобальної температури викликає різні побічні ефекти, підйом або зниження рівня води, збільшує частоту екстремальних погодних явищ, що в кінцевому результаті впливає на всі елементи гідрологічної річкової системи і на підраховані промислові запаси підземних вод. З цією метою видається важливим вивчення змін клімату, характеру розподілу опадів, вегетаційного періоду рослин, водневого показника рН та ін. Однією з головних причин посилення парникового ефекту, що сприяє глобальному потеплінню, є збезділення, що негативно впливає на кругообіг води, припинення процесу транспірації. Тому необхідна активна участь у процесі зниження викидів CO₂, у збільшенні лісових масивів, зниженні забруднення водних ресурсів, а також перехід на нетрадиційні поновлювані сонячну і вітрову енергії, упровадження альтернативної енергії родовищ термальних вод.

Ключові слова: зміна клімату, Малий Кавказ, Талиська зона, Каспійське море, гідрогеологічні масиви, мінеральні води, гірські масиви, джерела.

УДК 351.865

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.13>С. Пасіка¹, канд. юрид. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: ras3@i.ua;Д. Чомко², канд. геол. наук, доц.,
E-mail: Dimath@ukr.net;О. Опанасенко¹, канд. юрид. наук,
E-mail: tcherkasova@ukr.net;Д. Хомяков¹, канд. юрид. наук, підполк.,
E-mail: dimas84@meta.ua;О. Скиба¹, дослідник,
E-mail: skyba@ukr.net;Р. Пасіка³, студ.,
E-mail: ras33@i.ua;О. Горбачук¹, дослідник,
E-mail: administrator.2@ukr.net;¹Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
вул. Ломоносова, 81, Київ, 03189, Україна;²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології",
вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна;³Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут права,
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна

ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Висвітлюються правові аспекти регулювання видобутку підземних вод для забезпечення потреб Збройних Сил України. Розглянуто та розкрито загальні тенденції видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин. В умовах недостатнього ресурсного забезпечення, неефективної системи моніторингу довкілля та неефективного використання ресурсів у секторі безпеки та оборони досить актуальним є питання правового регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб Збройних Сил України як складової національної безпеки та оборони України.

На сьогодні актуальною є проблема забезпечення водою віддалених військових частин, які не мають можливості під'єднатися до централізованої системи водопостачання і змушені використовувати свердловини для забезпечення потреб у водопостачанні.

Проаналізувавши стан правового регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб Збройних Сил України, констатуємо, що існує ціла низка питань, які не врегульовані законодавством України, діють нормативно-правові акти, які містять колізійні норми.

Досягнення балансу соціальних, екологічних і економічних інтересів військових частин як складової національної безпеки та оборони України пов'язано з раціональним і збалансованим водоспоживанням і водокористуванням та є одним із пріоритетних напрямів в удосконаленні механізмів державного регулювання використання водно-ресурсного потенціалу України. Засобом реалізації даного напрямку є розробка та здійснення узгоджених і взаємопов'язаних законодавчих, нормативних, організаційних, економічних, екологічних і технічних проектів і заходів щодо поліпшення якості водних ресурсів, їхнього раціонального та екологічно безпечного використання, збалансування господарських потреб у воді з ресурсними та екологічними можливостями водно-ресурсного потенціалу.

Ключові слова: національна безпека та оборона України, екологічна безпека, видобуток підземних вод, правове регулювання видобутку підземних вод, військова частина.

Постановка проблеми. Забезпечення потреб Збройних Сил водою є життєво важливим і відповідальним процесом. Невід'ємною складовою процесу забезпечення водою Збройних Сил України є нормативно-правове регулювання цього процесу.

Сьогодні правове розв'язання проблеми видобутку підземних вод в Україні є слабо врегульовано і досить колізійне. А правове регулювання видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин як складової національної безпеки та оборони України взагалі відсутнє. Також відсутні наукові та науково-практичні дослідження, що стосуються правового регулювання саме цих питань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дану тему порушували у своїх наукових розробках такі науковці, як: Н.І. Золотарьова, В.В. Харкевич, С. Крижєвич, О.В. Сердюк, А.К. Соколова, Н.В. Локтева та ін. Ці вчені займалися питаннями про заходи охорони підземних вод від виснаження та забруднення, а також пропонували вдосконалити законодавчі акти, юридичні та санітарні документи з охорони підземних вод.

Відсутність належного правового регулювання видобутку підземних вод ускладнює формування дієвої державної політики в Збройних Силах України і

створює передумови для виникнення додаткових загроз національній безпеці та обороні України.

В Україні основним законом є Конституція України, яка в ст. 19 визначає, що "органи державної влади та органи місцевого самоврядування, їхні посадові особи зобов'язані діяти лише на підставі, у межах повноважень та у спосіб, що передбачені Конституцією та законами України" (Конституція України, 1996).

Відповідно до Закону України "Про військовий обов'язок і військову службу" військовослужбовці – особи, які проходять військову службу, а військова служба є державною службою особливого характеру, яка полягає у професійній діяльності придатних до неї за станом здоров'я і віком громадян України (за винятком випадків, визначених законом), іноземців та осіб без громадянства, пов'язаних з обороною України, її незалежністю та територіальною цілісністю. (Про загальний обов'язок і військову службу, 1992).

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Ураховуючи відсутність правового регулювання питань видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин Збройних Сил України, військові посадові особи не можуть реалізувати у правовому полі процеси видобутку підземних

вод для військовослужбовців. І якщо для забезпечення водою потреб військових частин Збройних Сил України власне на території розташування самих військових частин використовуються правові засади видобутку підземних вод за загальними нормами (*Про затвердження Положення...*, 1997), то в умовах швидкої передислокації військових частин на тимчасові місця розташування для виконання поставлених цілей правове обґрунтування облаштування водозабірних споруд відсутнє. Отже, командири та начальники завжди перебувають перед вибором, чи діяти в межах і у спосіб, визначений законом, а у зазначеній вище ситуації – це означає "не діяти" і не забезпечити водою потреби військових частин у складних ситуаціях, чи виходити за межі своїх повноважень і забезпечити видобуток підземних вод для потреб військових частин.

Формулювання цілей статті. На нашу думку, забезпечення функціонування системи правового регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин як складової національної безпеки та оборони України має бути пріоритетним завданням стратегії національної безпеки України. Сьогодні така система в Україні перебуває на стадії формування, і можна говорити тільки про її окремі елементи. Тобто є окремі нормативно-правові акти, які не забезпечують усебічного правового регулювання таких процесів, а в окремих випадках деякі норми цих нормативно-правових актів суперечать одна одній та є колізійними.

Стратегією національної безпеки України (рішення Ради національної безпеки і оборони України, введено в дію Указом Президента України від 14 вересня 2020 р. № 392/2020) визначено пріоритетні цілі та напрями на реалізацію державної політики національної безпеки, окреслено актуальні загрози та основні напрями державної політики національної безпеки України.

Стратегія національної безпеки України (*Стратегія...*, 2020) ґрунтується на таких основних засадах:

- стримування – розвиток оборонних і безпекових спроможностей для унеможливлення збройної агресії проти України;
- стійкість – здатність суспільства та держави швидко адаптуватися до змін безпекового середовища і підтримувати стале функціонування, зокрема шляхом мінімізації зовнішніх і внутрішніх уразливостей;
- взаємодія – розвиток стратегічних відносин із ключовими іноземними партнерами, насамперед з Європейським Союзом і НАТО та їхніми державами-членами, Сполученими Штатами Америки, прагматичне співробітництво з іншими державами та міжнародними організаціями на основі національних інтересів України.

Ураховуючи фундаментальні національні інтереси, визначені Конституцією України і Законом України "Про національну безпеку України", пріоритетами національних інтересів України та забезпечення національної безпеки є:

- відстоювання незалежності й державного суверенітету;
- відновлення територіальної цілісності в межах міжнародно визнаного державного кордону України;
- суспільний розвиток, насамперед розвиток людського капіталу;
- захист прав, свобод і законних інтересів громадян України;
- європейська та євроатлантична інтеграція.

Реалізація цих пріоритетів забезпечуватиметься за такими напрямками:

- відновлення миру, територіальної цілісності та державного суверенітету на тимчасово окупованих територіях у Донецькій і Луганській областях України на основі міжнародного права;
- забезпечення екологічної безпеки, створення безпечних умов життєдіяльності людини, зокрема на територіях, що постраждали внаслідок бойових дій, розбудова ефективної системи цивільного захисту;
- посилення спроможностей національної системи кібербезпеки для ефективної протидії кіберзагрозам у сучасному безпековому середовищі;
- розвиток державно-приватного партнерства.

Перераховані вище засади та інтереси є всеосяжними і правильними по суті. Проте на сьогодні існує ціла низка поточних загроз національній безпеці та національним інтересам України з урахуванням зовнішньополітичних і внутрішніх умов. До цих загроз Збройні Сили України мають не завжди пряме відношення. До них можна віднести наведені нижче.

Дедалі більше людей відчують наслідки зміни клімату та зростання техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Збільшуються кількість і масштаби надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Виснажується екосфера, зростає споживання невідновлюваних ресурсів. Руйнуються екосистеми і біоценози. Посилюється негативний вплив біологічних факторів на населення, зростає імовірність виникнення загроз біологічного походження. Високою є загроза виникнення і поширення як уже відомих, так і нових інфекційних хвороб.

Погіршуються середовище життєдіяльності, якість повітря, питної води, продуктів харчування, що впливає на життя та здоров'я людей.

Триває нераціональне використання природних ресурсів, деградація лісів, водних басейнів, сільськогосподарських угідь. Неефективною є система поводження з побутовими і промисловими відходами. Можливості адаптації економіки, систем життєзабезпечення та цивільного захисту до зміни клімату є недостатніми. Зберігається негативний вплив триваючих бойових дій на територіях окремих районів Донецької й Луганської областей та наслідків Чорнобильської катастрофи на екологію і здоров'я людей.

Екологічна безпека, зокрема безпека середовища життєдіяльності людини, – один із найвищих пріоритетів. Маємо створити умови для підтримання екологічної рівноваги на території України, модернізації комунальної інфраструктури, посилити охорону навколишнього природного середовища, упровадити новітні системи поводження з відходами і скоротити промислові викиди, забезпечити ефективне використання природних ресурсів, захищати ліси і водойми, розвивати заповідний фонд, запобігати виникненню негативних наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру та усувати їх.

Виклад основного матеріалу дослідження. Що стосується забезпечення військових частин питними водами, то на сьогодні ситуація така.

Процеси видобутку підземних вод регулюються такими основними нормативно-правовими актами: Водний кодекс України; Кодекс України "Про надра"; Закон України від 10.01.02 № 2918-III "Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення"; Закон України "Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-

сировинної бази України на період до 2030 року"; Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.02 № 321 "Про затвердження Порядку видачі дозволів на спеціальне водокористування та внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 10 серпня 1992 р. № 459".

Вода є невід'ємною складовою навколишнього природного середовища, що виконує важливі функції – екологічну, культурно-оздоровчу, економічну тощо. Згідно зі ст. 13 Конституції України – земля, її надра, атмосферне повітря, водні та інші ресурси, які розташовані в межах території України, природні ресурси її континентального шельфу, виключної (морської) економічної зони є об'єктами права власності українського народу (*Конституція України, 1996*). Відповідно до преамбули Водного кодексу України всі води на території України є національним надбанням народу України, однією з природних основ його економічного розвитку і соціального добробуту (*Водний кодекс України, 1995*).

На сьогодні для водноресурсного потенціалу Української держави характерне велике антропогенне навантаження, а проблема води є однією з найбільш гострих (*Zyhrii and Kovalchuk, 2018*).

Тому, виходячи з наведеного вище, складна водогосподарська та водно-екологічна обстановка вимагає детального дослідження.

Згідно зі ст. 1 Водного кодексу України, води – це всі води (поверхневі, підземні, морські), що входять до складу природних ланок кругообігу води (*Водний кодекс України, 1995*). Зі змісту даного визначення випливає, що основним критерієм визначення вод як об'єкта правової охорони є наявність належності води до складу природних ланок її кругообігу. Таким чином, водним законодавством не регулюються відносини з приводу води, вилученої з природного середовища, яка міститься в резервуарах та інших ємностях, водопровідних трубах і використовується для повсякденних потреб (*Соколова, 2015*).

Отже, води становлять диференційований об'єкт екологічного права, якщо вони є частиною навколишнього природного середовища, входять до складу природних ланок кругообігу води та становлять водні об'єкти. Крім цього, води як об'єкт підгалузі водного права можуть виступати як водні об'єкти, так і водні ресурси. Ці два поняття відокремлюються наукою екологічного права і законодавством, вони є взаємопов'язаними та співвідносними, однак не тотожними. Предметом правового регулювання підгалузі водного права є водні відносини, структуру яких визначають характерні лише їм суб'єкт, об'єкт і зміст (*Золотарьова, 2013*).

Закон поділяє води на поверхневі й підземні. Якщо використання поверхневої води водного об'єкта регулюється виключно водним законодавством, то відносини з приводу використання підземних вод можуть регулюватися не лише водним законодавством, але й законодавством про надра (*Хвесик та ін., 2004*).

Питні підземні води – підземні води, що призначені для задоволення питних і господарсько-побутових потреб населення, а також харчової промисловості та тваринництва; якісні характеристики питних підземних вод у природному стані або після спеціальної водопідготовки повинні відповідати вимогам, установленим відповідними державними стандартами, нормативами екологічної безпеки водокористування і санітарними нормами.

Технічні підземні води – підземні води, що призначені для задоволення технічних і технологічних потреб;

якісні характеристики технічних підземних вод у природному стані або після спеціальної водопідготовки повинні відповідати вимогам діючих галузевих нормативів або технічних умов водокористувача.

Природні підземні мінеральні лікувальні води – природні підземні мінеральні води об'єктів (родовищ), які мають виражену лікувальну і профілактичну дію на організм людини, характеризуються мінералізацією більше 2,0 г/дм³ або меншою, із вмістом у них біологічно активних компонентів і сполук не нижче прийнятих бальнеологічних норм відповідно до кондицій, установлених для кожного об'єкта (родовища), вода яких використовується без додаткової обробки, що може вплинути на хімічний склад і мікробіологічні властивості згідно з медичним (бальнеологічним) висновком.

Варто зауважити, що термін "підземні води" не має як такого чіткого законодавчого оформлення. Тому для внесення чіткості пропонується створити законодавчий документ, що міститиме положення, необхідні для врегулювання питання підземних вод України. У ситуації, що склалася навколо водних ресурсів у державі, потрібно посилити як адміністративно-правовий режим усіх видів вод, так і адміністративну відповідальність за порушення норм водокористування та забруднення водних об'єктів.

Невід'ємною складовою водних ресурсів є підземні води. Вони, як правило, мають низку переваг перед поверхневими, оскільки характеризуються більш високою якістю, краще захищені від забруднення і випаровування, значно менше залежать від сезонних і багаторічних змін клімату. Особливо велике значення мають прісні підземні води, які в багатьох країнах є основним джерелом водопостачання населення і їхня роль у загальному балансі господарсько-питного водоспоживання з кожним роком збільшується.

Підземні води є одним із найважливіших об'єктів надр. Вони мають стратегічне значення як надійне та якісне джерело питного водопостачання населення. Крім того, підземні води є джерелом лікувальної, теплоенергетичної та гідромінеральної сировини (*Шестопалов та ін., 2005*).

Підземні води належать до корисних копалин загальнодержавного значення. Вони мають подвійну природу: з одного боку, це рухома корисна копалина, яка циркулює в гірських породах й її використання потребує видобутку з надр, а з іншого – це частина загальних водних ресурсів планети, яка активно взаємодіє з поверхневими водами, атмосферою та іншими компонентами природного середовища. У зв'язку із цим ресурси підземних вод та їхні експлуатаційні запаси залежать не тільки від геолого-гідрогеологічних, але й від фізико-географічних і антропогенних факторів, які змінюють умови живлення підземних вод, їхню якість і можливість видобутку і використання.

Розподіл підземних вод територією України обумовлений геологічною будовою та історією природного розвитку різних її частин. Це відокремлені та відмінні один від одного гідрогеологічні регіони, різні за віком, складом і умовами залягання відкладів, що їх становлять. Вони відрізняються за сукупністю основних природних факторів, які визначають закономірності формування, розподілу, складу й умов експлуатації підземних вод (*Локтєва-Маклашова, 2010; Харкевич, 2013*).

На сьогодні актуальною є проблематика забезпечення водою віддалених військових частин Збройних Сил України (військових частин, розташованих у тимчасових місцях дислокації), які не мають можливості під'єднання до централізованої системи

водопостачання і змушені використовувати свердловини для забезпечення потреб у водопостачанні.

До прийняття у 2017 р. Закону України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України, що регулюють відносини, пов'язані з одержанням документів дозвільного характеру щодо спеціального водокористування" діяв закріплений у ст. 48 Водного кодексу України перелік видів діяльності, які не належали до спеціального водокористування (отже, і не потребували спеціального дозволу на їхнє провадження). Цей перелік містив 11 пунктів, але його нечасто застосовували до пересічних водокористувачів з огляду на вузьку спеціалізацію таких випадків. Тому чи не всі власники артезіанських свердловин (у тому числі військові частини), які використовували незначні обсяги води переважно для задоволення питних і господарсько-побутових потреб, не мали отримувати дозвіл на спеціальне водокористування, оскільки відповідно до ст. 23 Кодексу України про надра, яка визначає право землевласників і землекористувачів у межах наданих їм земельних ділянок без спеціальних дозволів і гірничого відводу видобувати підземні води (крім мінеральних) для всіх потреб, крім виробництва фасованої питної води (до 01.01.16 – для власних господарсько-побутових потреб, нецентралізованого і централізованого господарсько-питного водопостачання), за умови, що об'єм видобування підземних вод із кожного з водозаборів не перевищує 300 м³ на добу.

Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України, що регулюють відносини, пов'язані з одержанням документів дозвільного характеру щодо спеціального водокористування" до переліку випадків, які не є спеціальним водокористуванням, включено забір та/або використання води в обсязі до 5 м³ на добу, крім тієї, яку використовують для виробництва (входить до складу) напоїв і фасованої питної води. Отже, з 04.06.17 особи, які використовуватимуть менше ніж 5 м³ води на добу, не зобов'язані отримувати дозвіл на спеціальне водокористування. Це правило поширюється на використання води для всіх потреб, крім єдиної – виробництва напоїв і фасованої питної води, за якого особа, видобуваючи будь-який об'єм води, має отримувати дозвіл на спеціальне водокористування.

Крім того, у зазначеному Законі чітко обумовлено, що без дозволу на спеціальне водокористування вторинні водокористувачі (абоненти), які отримують воду з водозабірних споруд первинних водокористувачів і скидають стічні води в їхні системи, мають право використовувати воду на підставі договору про водопостачання (поставку води) та/або про водовідведення.

Отже, відповідно до вимог законодавства військові частини, які мають свердловини та використовують більше 5 м³ води на добу, зобов'язані отримувати дозвіл на спеціальне водокористування. У сучасних умовах цей процес вимагає доволі багато часу, якого військові частини часто не мають.

Висновки. Проаналізувавши стан правового регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб Збройних Сил України, ми дійшли висновку, що існує ціла низка питань, які не врегульовані законодавством України, діють нормативно-правові акти, які містять колізійні норми. Вирішення цих питань (як приклад, водозабезпечення військових частин у місцях їхнього тимчасового розташування) є нагальним питанням сьогодення.

Відсутність налагодженого механізму видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин створює загрозу для держави загалом.

Початок розв'язання цієї проблеми полягає у створенні належного правового регулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин. Аналіз зазначених вище питань допомагає у створенні напрямів для подальшого вирішення та врегулювання процесів видобутку підземних вод для забезпечення потреб військових частин.

З метою забезпечення Збройних Сил України водою, що відповідає сучасним санітарно-гігієнічним вимогам, необхідно розробити і внести зміни до існуючих стандартів і норм водоспоживання, суттєво збільшивши кількість контролюючих якості води параметрів; технологій підготовки води для використання й очищення стічних вод; збільшити об'єми використання підземних вод на господарсько-питні потреби; забезпечити очищення стічних вод відповідно до вимог природоохоронних законів. Слід зазначити, що забезпечення в майбутньому екологічно безпечного використання водно-ресурсного потенціалу здебільшого залежить не лише від технологій виробництва, а й від управління водними ресурсами, їхнім використанням, охороною та поновленням.

Сучасний розвиток України потребує екологізації всіх управлінських дій та заходів, які здійснюються у процесі використання водних ресурсів, передбачає поєднання соціальних, економічних та екологічних чинників. Водночас екологізація не є абсолютно новою проблемою, нове в даній проблемі полягає в еквівалентності обміну між державою, природою та людиною, яка базується на законодавчих, організаційно-технічних рішеннях (Харкевич та Крижевич, 2012).

Виходячи з викладеного, можна зробити такі висновки. Забезпечення досягнення балансу соціальних, екологічних і економічних інтересів військових частин як складових національної безпеки та оборони України, пов'язаних з раціональним і збалансованим водоспоживанням і водокористуванням, є пріоритетним напрямом в удосконаленні механізмів державного регулювання використання водно-ресурсного потенціалу України. Засобом реалізації даного напрямку є розробка та здійснення узгоджених і взаємопов'язаних законодавчих, нормативних, організаційних, економічних, екологічних і технічних проектів і заходів щодо правового регулювання умов і можливостей видобутку підземних вод для потреб ЗСУ, поліпшення якості водних ресурсів, їхнього раціонального та екологічно безпечного використання, збалансування господарських потреб у воді з ресурсними та екологічними можливостями водно-ресурсного потенціалу.

Список використаних джерел

- Водний кодекс України. (1995). № 214/95-ВР від 6 червня 1995 р. *Відомості Верховної Ради України*, 24.
- Земельний кодекс України, (2002). № 2768-III від 25.10.2001. *Відомості Верховної Ради України*, 3–4. Отримано з <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/page>.
- Золотарьова, Н.І. (2013). Надра і води як об'єкти адміністративно-правової охорони. *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*, 2.
- Конституція України (1996). № 254 к/96-ВР від 28 червня 1996 р. *Відомості Верховної Ради України*, 30.
- Локтева-Маклашова, Н.В. (2010). Правові аспекти управління в галузі використання водних ресурсів Дніпровського басейну України. *Вісник Харківського національного університету внутрішніх справ*, 1.
- Про загальний обов'язок і військову службу (1992). Закон України від 25.03.1992 р. *Відомості Верховної Ради України*, 27. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2232-12#Text>

Про затвердження Положення про військове (корабельне) господарство Збройних Сил України. (1997). Наказ Міністерства оборони України № 300.

Про надра. (1994). Кодекс України від 27.07.1994 р. *Відомості Верховної Ради України*, 36. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text>

Про питну воду та питне водопостачання. (2002). Закон України від 10.01.2002 р. *Відомості Верховної Ради*, 2918-III.

Соколова, А.К. (2015). Правові аспекти державного управління в галузі охорони вод і відтворення водних ресурсів. *Проблеми законності*, 128.

Стратегія національної безпеки України. (2020). Рішення Ради національної безпеки і оборони України. Введено в дію Указом Президента України від 14 вересня 2020 року № 392/2020.

Харкевич, В.Г., Крижів, С.О. (2012). Заходи щодо охорони підземних вод від виснаження і забруднення. *Вісник Львівського університету. Серія: Геологічна*, 26.

Харкевич, В.Г., Місюра, Я.І. (2013). Проблема охорони водних ресурсів Львівщини. *Вісник Львівського університету. Серія: Геологічна*, 27.

Хвесик, М. А., Горбач, Л.М., Кулаковський, Ю.П. (2004). Економіко-правове регулювання природокористування. Київ: Кондор.

Шестопапов, В.М., Лялюк, В.І., Гудзенко, В.В., Дробноход, М.І. (2005). Підземні води як стратегічний ресурс. *Вісник Національної академії наук України*, 5.

Zyhrii, O., Kovalchuk, Yu. (2018). Legal Basis of Land Market Regulation in Modern Ukraine. *Eurasian Academic Research Journal*, 2 (20). Отримано з http://www.earj.org/wp-content/uploads/2018/06/2018_20_EARJ.pdf

References

Kharkevych, V.H., Kryzhevych, S.O. (2012). Zakhody shchodo okhorony pidzemnykh vod vid vysnazhennia i zabrudnennia. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya: Heolohichna*, 26. [in Ukrainian]

Kharkevych, V.H., Misiura, Ya.I. (2013). Problema okhorony vodnykh resursiv Lvivshchyny. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya: Heolohichna*, 27. [in Ukrainian]

Khvesyk, M. A., Horbach, L.M., Kulakovskiy, Yu.P. (2004). Ekonomiko-pravovye rehulivannia pryrodokorystuvannia. Kyiv: Kondor. [in Ukrainian]

Konstitutsiia Ukrainy. (1996). № 254 k/96-VR vid 28 chervnia 1996 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 30. [in Ukrainian]

Loktieva-Maklashova, N.V. (2010). Pravovi aspekty upravlinnia v haluzi vykorystannia vodnykh resursiv Dniprovskoho basenu Ukrainy. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu vnutrishnikh sprav*, 1. [in Ukrainian]

Pro nadra. (1994). Kodeks Ukrainy vid 27.07.1994 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 36. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian]

Pro pytnu vodu ta pytne vodopostachannia. (2002). Zakon Ukrainy vid 10.01.2002 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady*, 2918-III. [in Ukrainian]

Pro zahalni oboviazok i viiskovu sluzhbu. (1992). Zakon Ukrainy vid 25.03.1992 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 27. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2232-12#Text> [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro viys'kove (korabel'ne) hospodarstvo Zbroynykh Syl Ukrayiny. (1997). Nakaz Ministerstva obrony Ukrayiny № 300. [in Ukrainian]

Shestopalov, V.M., Lialko, V.I., Hudzenko, V.V., Drobnohod, M.I. (2005). Pidzemni vody yak stratehichniy resurs. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 5. [in Ukrainian]

Sokolova, A.K. (2015). Pravovi aspekty derzhavnoho upravlinnia v haluzi okhorony vod i vidtvorennia vodnykh resursiv. *Problemy zakonnosti*, 128. [in Ukrainian]

Stratehiia natsionalnoi bezpeky Ukrainy. (2020). Rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i obrony Ukrainy. Vvedeno v diu Ukazom Prezidenta Ukrainy vid 14 veresnia 2020 roku № 392/2020. [in Ukrainian]

Vodnyi kodeks Ukrainy. (1995). № 214/95-VR vid 6 chervnia 1995 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 24. [in Ukrainian]

Zemelnyi kodeks Ukrainy. (2002). № 2768-III vid 25.10.2001 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 3-4. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/page>. [in Ukrainian]

Zolotarova, N.I. (2013). Nadra i vody yak obiekty administrativno-pravovoi okhorony. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut"*, 2. [in Ukrainian]

Zyhrii, O., Kovalchuk, Y. (2018). Legal Basis of Land Market Regulation in Modern Ukraine. *Eurasian Academic Research Journal*, 2 (20). Retrieved from http://www.earj.org/wp-content/uploads/2018/06/2018_20_EARJ.pdf

Надійшла до редколегії 27.05.21

S. Pasika¹, PhD (Law.), Senior Research,

E-mail: ras33@i.ua;

D. Chomko², PhD (Geol.), Assoc. Prof.,

E-mail: Dimath@ukr.net;

O. Opanasenko¹, PhD (Law.), E-mail: tcherkasova@ukr.net;

D. Khomiakov¹, PhD (Law.), Lieutenant Colonel,

E-mail: dimas84@meta.ua;

O. Skyba¹, Researcher,

E-mail: skyba@ukr.net;

R. Pasika³, Student,

E-mail: ras33@i.ua;

O. Horbachuk¹, Researcher,

E-mail: administrator.2@ukr.net;

¹Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Research Center, Research Laboratory of Law Problems in the Military Sphere, 81 Lomonosova Str., Kyiv, 03189 Ukraine;

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine;

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Law, 60 Vladimirska Str., Kyiv, 01033 Ukraine

LEGAL REGULATION OF GROUNDWATER EXTRACTION PROCESSES TO MEET THE NEEDS OF MILITARY UNITS

The article highlights the legal aspects of groundwater regulation to meet the needs of the Armed Forces of Ukraine. The general tendencies of groundwater extraction to meet the needs of military units as components of national security and defense of Ukraine are considered and revealed.

Given the insufficient resource provision, inefficient environmental monitoring system and inefficient use of resources in the security and defense sector, the issue of legal regulation of groundwater extraction processes to meet the needs of the Armed Forces of Ukraine as components of national security and defense of Ukraine is quite relevant and in demand.

Currently, the issue of providing water to remote military units of the Armed Forces of Ukraine that do not have the ability to connect to a centralized water supply system and are forced to use wells to meet water supply needs is relevant.

Analyzing the state of legal regulation of groundwater extraction processes to meet the needs of the Armed Forces of Ukraine, we note that there are a number of issues that are not regulated by the legislation of Ukraine, there are regulations that contain conflict rules.

Achieving a balance of social, environmental and economic interests of military units as components of national security and defense of Ukraine, related to rational and balanced water consumption and water use, is one of the priority areas in improving mechanisms for state regulation of water resources in Ukraine. The means of implementing this direction is the development and implementation of coordinated and interconnected legislative, regulatory, organizational, economic, environmental and technical projects and measures to improve the quality of water resources, their rational and environmentally safe use, balancing economic water needs with resources and environmental opportunities water resource potential.

Keywords: national security and defense of ukraine, environmental safety, groundwater production, legal regulation of exposure.

С. Пасика¹, канд. юрид. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: ras3@i.ua;

Д. Чомко², канд. геол. наук, доц.,

E-mail: Dimath@ukr.net;

О. Опанасенко¹, канд. юрид. наук,

E-mail: tcherkasova@ukr.net;

Д. Хомяков¹, канд. юрид. наук, подполковник,

E-mail: dimas84@meta.ua;

О. Скиба¹, исследователь,

E-mail: skyba@ukr.net;

Р. Пасика³, студент,

E-mail: ras33@i.ua;

О. Горбачук¹, исследователь,

E-mail: administrator.2@ukr.net;

¹Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,

Научно-исследовательский центр, НИЛ проблем права в военной сфере,

ул. Ломоносова, 81, Киев, 03189, Украина;

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, НИИ "Институт геологи",

ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина;

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Институт права,

ул. Владимирская, 60, Киев, 01033, Украина

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ВОЕННЫХ ЧАСТЕЙ

В статье освещаются правовые аспекты регулирования добычи подземных вод для обеспечения потребностей Вооруженных Сил Украины. Рассмотрены и раскрыты общие тенденции добычи подземных вод для обеспечения нужд военных частей. В условиях недостаточного ресурсного обеспечения, неэффективной системы мониторинга окружающей среды и неэффективного использования ресурсов в секторе безопасности и обороны, весьма актуальным и востребованным является вопрос правового регулирования процессов добычи подземных вод для обеспечения потребностей Вооруженных Сил Украины, как составляющей национальной безопасности и обороны Украины.

В настоящее время актуальна проблема обеспечения водой отдаленных воинских частей, которые не имеют возможности подключения к централизованной системе водоснабжения и вынуждены использовать скважины для обеспечения потребностей в водоснабжении.

Проанализировав состояние правового регулирования процессов добычи подземных вод для обеспечения потребностей Вооруженных Сил Украины, констатируем, что существует целый ряд вопросов, которые не урегулированы законодательством Украины, действуют нормативно-правовые акты, содержащие коллизионные нормы.

Достижение баланса социальных, экологических и экономических интересов воинских частей, как составляющих национальной безопасности и обороны Украины, связанных с рациональным и сбалансированным водопотреблением и водопользованием, является одним из приоритетных направлений в совершенствовании механизмов государственного регулирования использования водно-ресурсного потенциала Украины. Средством реализации данного направления является разработка и осуществление согласованных и взаимосвязанных законодательных, нормативных, организационных, экономических, экологических и технических проектов и мероприятий по улучшению качества водных ресурсов, их рационального и экологически безопасного использования, нахождение баланса хозяйственных потребностей в воде с ресурсными и экологическими возможностями водно-ресурсного потенциала.

Ключевые слова: национальная безопасность и оборона Украины, экологическая безопасность, добыча подземных вод, правовое регулирование добычи подземных вод, военная часть.

УДК 556.3: 551:681.3(477.5)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.14>

О. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна;
Д. Хрущов, д-р геол. наук, проф., ст. наук. співроб.,
E-mail: khrushchov@hotmail.com,
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ ЗАОЩАДЛИВОГО ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД. ІНФОГЕОФРЕЙМИ В ГІДРОГЕОЛОГІЇ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром техн. наук, проф. В.І. Зацерковним)

Розглянуто теоретичні засади інформаційного забезпечення геологорозвідувальних досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод. Методологія інформаційного забезпечення ґрунтується на принципах цільової інфогеологічної структуризації геологічного середовища на базі традиційних прийомів формаційного аналізу з урахуванням гідрогеологічних (гідродинамічних і гідрохімічних) складових. Обговорюються перспективи впровадження системи фреймової організації геологічного середовища при інфогеологічному моделюванні. У прикладному сенсі дослідження зосереджуються на тій частині підземної гідросфери, що нині або на перспективу здатна забезпечувати потреби людства у питних, мінеральних, технічних, промислових, теплоенергетичних водах. Висунуто принципи поводження з підземними водними ресурсами, виходячи зі співвідношення відновлюваної природної (динамічні ресурси, які становлять переважну частку відкритих гідродинамічних систем у зоні інтенсивного водообміну), відновлюваної техногенної (штучні або порушені ресурси) і невідновлюваної складових (ємнісні запаси, що мають перевагу в закритих і напівазакритих структурах). Відповідно до цього під час експлуатації родовищ слід дотримуватися не лише розрахункового значення допустимого зниження рівня, а й "допустимого балансу" підземних вод. Пропонується також визначати та узгоджувати між собою межі родовищ і граничні умови області фільтрації. Останні мають відповідати не лише за формування дебітів водозаборів, але й демонструвати ступінь гідродинамічної, гідрохімічної, геологічної захищеності та ризик кількісного і якісного виснаження. Виснаження. Видобуток підземних вод необхідно врівноважувати відновленням їхніх запасів, чого можна досягти комбінованим по черговим водокористуванням поверхневих і підземних водних джерел, створенням інфільтраційних басейнів тощо. На цій концептуальній основі запропоновано систему інформаційного забезпечення досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод (ІЗДРВОПВ).

Ключові слова: підземна гідросфера, інфогеофрейм, підземні води, ресурси, запаси, баланс, інформаційне забезпечення, надрокористування, водозабори, охорона, якість води, методологія, моделі, клімат.

Актуальність і постановка проблеми. У країнах з інтенсивною економікою та розвиненими інформаційно-комунікаційними технологіями раціональне використання водних ресурсів і охорона навколишнього середовища вже давно мають пріоритет над екстенсивним надрокористуванням. Забруднення поверхневих вод, нерегульований водовідбір із підземних джерел (за рахунок неконтрольованої кількості приватних свердловин) та їхнє виснаження, а також брак фінансових можливостей для розвитку водогосподарського комплексу України надають підстави для поступового, послідовного та системного впровадження основних положень Стратегія геологічного вивчення й використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання на основі інноваційних методологічних принципів і методичних рішень. Збільшення способів використання та видів впливу на підземні води, багатofакторність, взаємообумовленість і синергізм великої кількості чинників, що впливають на формування обсягів та якості експлуатаційних запасів підземних вод, потребують їхнього системного врахування та включення до єдиного інформаційного поля. Комбінування різноманітних складових впливу на підземну гідросферу вимагає розробки *уніфікованого підходу*, за яким можна було б розглядати кожну природно-техногенну систему, що існує або створюється, у вигляді цілісної *структурованої інформаційної моделі*. Отже, конче назріла необхідність створення єдиної оптимізованої системи *інформаційного забезпечення досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод (ІЗДРВОПВ)* у різних галузях.

У зв'язку з кращою доступністю пріоритет у водоспоживанні в Україні завжди надавався поверхневим водам. Навіть у часи Чорнобильської катастрофи країна була не готова до швидкого переорієнтування на

захищені від радіонуклідного забруднення підземні води. Проте за помітного зменшення поверхневого стоку, розширення на північ степової та лісостепової зон більш водозабезпеченими лишатимуться райони Передкарпаття та Прип'ятське Полісся, переважна частина якого належить Білорусі. Саме там, а також за нашим західним, північним і північно-східним кордонами формується стік найбільш повноводних річок України: Прип'яті, Десни, Дніпра, Західного Бугу, Дунаю. Якщо глобальне потепління триватиме й надалі, то згодом наші сусіди підуть шляхом зарегулювання поверхневого стоку, що ставить Україну в залежність від їхніх водопотреб. Прикладів "добросусідських" водних відносин у світі багато. Наприклад, мале Лесото, яке майже повністю будує свою економіку на продажу питної води Південно-Африканській республіці.

Альтернатива залежності від поверхневого стоку – у використанні глибоких напірних прісних вод в артезіанських басейнах України. Проте запаси "доіндустріальних" питних вод високої якості (Яковлев, 2012) не безмежні. Проблема їхнього завчасного якісного виснаження тісно пов'язана з нераціональним розподілом води за цільовим призначенням, значними втратами води в комунальних мережах і відсутністю заощадливого водоспоживання. Існуюча система роздільного використання ресурсів поверхневих і підземних вод веде до їхнього нераціонального використання і викликає негативні екологічні наслідки (Клепов, 2010). Тому у випадку формування стратегії водокористування необхідно розглядати варіант *комбінованого водокористування* (Ковалевський, 1996; Минкин и Хранович, 1996; Клепов, 2010).

Потепління клімату, вплив якого на водні ресурси став доволі очевидним (Dai, 2013; Shevchenko et al., 2019), спонукає до термінових змін у структурі

водоспоживання. Зменшення кількості опадів (до 2020 р.), зростання випаровування в літній період, зниження рівнів і стоку річок, падіння рівнів тісно пов'язаних з ними ґрунтових вод призводить до пересихання шахтних колодязів у селах і маленьких містах. Навіть до початку найбільш помітного впливу глобального потепління (1989) Україна посідала одне з останніх місць у Європі за рівнем водозабезпеченості на душу населення поверхневим місцевим стоком – до 1040 м³/рік. Це на рівні таких африканських країн, як Марокко, Лівія, Судан. В Європі у середньому це питоме значення становить 4600 м³/рік (Данилишин та ін., 1999). Нині ж у зв'язку із зменшенням населення України від початку незалежності на 10 млн жителів, тобто до 41,785 млн, забезпеченість місцевим стоком становить у рік середньої водності 1254 м³/людину/рік (дуже низька водозабезпеченість), а в маловодний рік в разі 95 % забезпеченості – близько 900 м³/людину/рік, що відносить нас до країн із надзвичайно низькою водозабезпеченістю (найнижчий рівень) (Данилишин та ін., 1999). При цьому для забезпечення прийнятного рівня харчування однієї людини загальні розрахункові витрати води на вироблення (у т.ч. зрошення) і приготування їжі становлять 1300 м³/людину/рік (Falkenmark and Rockstrom, 2004).

Місцевий стік (власний фонд держави) займає близько 25 % від загального стоку вкупі з транзитним. Загальний стік або потенційні ресурси поверхневих вод України в рік середньої водності донедавна оцінювались у 208–210 км³ (без Дунаю ця цифра істотно зменшується – до 85,1 км³), а в маловодний – 151,4 км³ (без Дунаю – 55,9 км³) (Данилишин та ін., 1999). Доступними для використання вважають 56,2 км³. Зважаючи на те, що на більшу частину території України нині поширюються зони нестійкого та недостатнього зволоження, місцевий стік надалі буде зменшуватись, і все більше відчуватиметься залежність від транзитного стоку. Останнє десятиріччя власний середній річний стік становить уже близько 48,4 км³/рік. У результаті природні ресурси підземних вод зменшились і становлять близько 41 % від загального річного стоку (порівняно з розрахунками на перше десятиріччя ХХІ ст. це відносне значення зросло на 2 %). Прогнозні ресурси підземних вод (ПРПВ) з мінералізацією менше 1,5 г/дм³ цілком належать до власного ресурсного фонду держави і становлять, за підрахунками 1978 р., близько 57500 тис. м³/добу (Камзіст та Шевченко, 2008; Стан..., 2020), тобто – 502,3 м³/людину/рік. Це значення порівняно невисоке. Питома забезпеченість ресурсами підземних питних вод переважної більшості країн Європи вища (у Швеції та Естонії – у 13 разів; Франції – у 4 рази; Данії, Великобританії, Румунії – у 2 рази, у Польщі – в 1,6 рази), і лише в Бельгії, Нідерландах і Молдові менша (не враховуючи країн-карликів), ніж в Україні. Але водночас водовідбір підземних вод у нас невідповідно високий – близько 4,0 км³/рік. Вищий, ніж в Україні він лише в 6 із 29 країн Європи (серед яких РФ, Німеччина, Іспанія, Франція). Більш загрозлива ситуація лише в Болгарії, де обсяги видобутку підземних вод навіть більші за обсяги їхніх ресурсів (Джамалов і Сафранова, 2009).

На відміну від поверхневого стоку не всі ресурси підземних питних і мінеральних вод можна вважати швидковідновлюваними. Є такі родовища, на яких експлуатаційні запаси сформовані на 70–80 % статичними та пружними запасами і лише решта – динамічними. Тобто водовідбір на них повинен бути дуже виваженим, з помірним дебітом. Підхід до використання природних столових вод має бути також іншим і базуватись на

розрахунках потреб людини у питній воді на добу. А це лише 1,5–2,0 дм³. Звідси потреби населення України у воді, призначеній для внутрішнього використання, становлять лише 0,14 % від ПРПВ. Отже, якщо використовувати чисті, найбільш фізіологічно придатні підземні води раціонально, лише за призначенням, їх повинно вистачити багатьом прийдешнім поколінням. Розділення водопостачальних і каналізаційних мереж для вод різної якості (для питних і господарських цілей) уже давно швидкими темпами впроваджується в комунальних галузях країн ЄС.

Отже, сучасні проблеми забезпечення населення та промисловості України природними водними ресурсами тісно пов'язані із поточними кліматичними та техногенними змінами умов формування поверхневого водного стоку і режиму відновлення запасів підземних вод. Розв'язувати проблему господарсько-питного та технологічного водозабезпечення харчової та деяких інших галузей промисловості шляхом переходу на пріоритетне підземне водопостачання необхідно на основі оптимізованої системи забезпечення інформацією про геологічну будову, історію формування підземних басейнів прісних вод, захищеність, якісний стан, прогнозні ресурси, циклічність у змінах багатоводних і маловодних періодів, доступність, призначення вод за способом використання тощо. Очевидно, що для коректної оцінки експлуатаційних запасів підземних вод і визначення характеру формування поверхневого і підземного стоку фахівцям необхідна також інформація про багатовікові природні кліматичні зміни, що актуалізує запит на вдосконалення методів палеокліматичних і палеогідрогеологічних реконструкцій.

Таким чином, основною **метою** даної роботи є розробка загальної структури *системи інформаційного забезпечення досліджень і робіт з видобутку, використання і охорони підземних вод на засадах заощадливого, відновлювального водокористування, обґрунтування доцільності її організації та впровадження. Теоретичною основою* для цього мають бути концептуальні положення про водообмін (Шестопалов і др., 1989), гідролітобіосферу (Техногенные процессы..., 2003) та нові принципи збалансованого водовідбору (див. далі); *практичними засадами* – результати сучасних геолого-екологічних досліджень і фактичні дані з водокористування; *регламентуючими підставами* – законодавчі акти, нормативні документи та підзаконні галузеві інструкції.

Предметом даної роботи виступає система інформаційного забезпечення досліджень і робіт з видобутку і охорони підземних вод (ІЗДРВОПВ) і форми її організації, а *об'єктом* ІЗДРВОПВ є власне частина підземної гідросфери (або гідролітосфери), яка потрапляє у сферу зацікавленості та практичної діяльності людини і тісно взаємодіє з поверхневими водами.

Методологічні принципи та підходи. На сьогодні вже представлено теоретичні підходи інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем (ІЗДРПГС) (Khrushchev et al., 2019, 2020). Теорія ІЗДРПГС добре узгоджується з концепцією інформатизації галузей економіки та суспільної діяльності й має на меті підвищити ефективність наукових досліджень і робіт з використання та охорони ГС.

Методологія ІЗДРВОПВ, як підрозділу ІЗДРПГС, базується на процедурі структуризації геологічного середовища (ГС) на основі традиційних підходів формального аналізу з відображенням дії *гідрогеологічних* (гідродинамічних і гідрохімічних) факторів у просторі й часі. Вона ґрунтується на уявленнях про природне

формування підземних вод, функціонування водообмінної системи в умовах експлуатації, захисту від забруднення та одночасного відновлення запасів підземних вод. Ці питання тісно пов'язують систему ІЗДРВОПВ із завданнями *гідрогеоекології* (Мироненко і Румынин, 1998–1999).

Визначення понять і термінів. Основою для уніфікації та об'єднання споріднених понять і термінів, що виникли в різних наукових і прикладних напрямках гідрогеології, для системного описання природних і природно-техногенних об'єктів впливу на підземні води може бути використана *теорія інфогеофреймової організації* геолого-інформаційного простору. Виходячи із прийнятого визначення: "*інфогеофрейм* – це рамочне геоінформаційне структурно-речовинне прогнозно-ретроспективно-статичне відображення певного класу геологічних об'єктів, пропонується відповідний предметний термін – *інфогідрогеофрейм* (ІГГФ), що означає *геоінформаційне рамочне відображення* певної гідрогеологічної ємності як структурно-речовинної одиниці обсягу ГС (інакше – породного масиву, що вміщує підземні води). ІГГФ можуть бути доволі різних масштабів і рівень їхньої складності обмежується рівнем деталізації досліджень.

У теорії інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем запропоновано (Khrushchov et al., 2020) виділяти три найбільш узагальнені типи інфогеофреймів: за геолого-генетичними ознаками; за діалектичною детермінованістю; за призначенням. У кожному типі виділено дві групи геологічних систем та об'єктів: у першому – природні й техногенні; у другому – абстрактні й конкретні, у третьому – пізнавальні та цільові. Приблизно така ж класифікаційна структура може бути прийнята і до інфогідрогеофреймів, проте до першого типу, крім природних (непорушені водоносні системи) і техногенних (поля фільтрації, рідкі відходи, закачані в надра, осередки шахтних вод) доцільно віднести й природно-техногенні (водозабори, що вилучають природні води, гідротехнічні меліоративні системи, дренажні системи в гірничій галузі), які для ІЗДРВОПВ є основними. Структурно-формаційні набори інфогідрогеофреймів створюють чотири ієрархічні рівні: регіональний (із двома підрівнями: міжгалузевий і транскордонний), зональний, групи структур (або галузевий), локальний. Сукупність усіх типів інфогідрогеофреймів становить гідролітобіосферу (Техногенные процессы, 2003), яка являє собою впорядковану сукупність гідрогеологічних елементів, що самоорганізується та існує з утворенням відповідного *інформаційного поля*. На відміну від ГС фреймовий підхід щодо організації геологічної інформації забезпечує не її схематизацію, а логічно підпорядковану деталізацію та структурування фактичних даних про об'єкт, що надає можливість вирішення не лише поставленого поточного, а й безлічі майбутніх не пов'язаних між собою завдань. Якщо за допомогою ГС створюють близькі до реальних макети геологічного або географічного простору, то інфогеофрейм уже існує і чекає на адекватне відображення. Єдина інформаційна система на основі інфогеофреймів має включати не лише дані геологорозвідувальних робіт та обґрунтування перспектив надрокористування, а й забезпечувати можливість порівняння з альтернативними, навіть менш прибутковими, проте значно більш екологічними варіантами економічної або рекреаційної діяльності на обраній території (що вже тривалий час практикується в ЄС); надавати можливість оцінки привабливості об'єктів ГС для інвесторів з різних галузей;

допомагати виявляти порушення ресурсного та екологічного балансу, визначати рівень впливу на компоненти довкілля та не допускати екологічної кризи. Така інформаційна система має враховувати інтереси місцевого самоврядування, сучасні виклики, пов'язані з глобальними змінами клімату (Шевченко та ін., 2019) і станом довкілля, а також останні міжнародні домовленості та зобов'язання у сфері охорони навколишнього природного середовища.

У прикладному сенсі в межах верхньої частини гідролітобіосфери виділяються окремі *природно-господарські системи*, головною вимогою до яких є наявність рушійного соціально-екологічного чинника, спрямованого на збереження стійкості довкілля за максимально допустимого зростання ефективності використання природних (мінерально-сировинних) ресурсів (Іванов, 1997). Окрема реальна природно-господарська система як частина гідролітобіосфери у впорядкованій структурі інформаційного поля також може бути представлена у форматі інфогідрогеофрейму.

Зміст системи ІЗДРВОПВ. Нижче подаються *особливості структури і динаміки гідрогеологічного простору* з урахуванням його функціональних властивостей, що необхідно для розуміння підстав для введення обмежень з водокористування.

Головні умови й обмеження використання та охорони підземних вод, на відміну від твердофазної частини ГС, мають бути пов'язані передусім із *динамікою водообміну в геологічному середовищі*, а також виключно цільовим використанням з недопущенням самовиливу напірних вод через каптажні споруди.

Предметом досліджень ІЗДРВОПВ є: структурні, якісні та функціональні характеристики підземного гідрогеологічного середовища, що є частиною ноосфери, тобто тієї частини геосфери, яка залучається людством до простору своєї поточної та еволюційної (перспективної) життєдіяльності на Землі. Оскільки система ІЗДРВОПВ спрямована на вирішення прикладних завдань, то, розглядаючи доступну для людини частину підземної гідросфери, предмет досліджень на регіональному рівні слід трактувати, як прогнозні ресурси питних, мінеральних, технічних і промислових підземних вод; а на локальному або об'єктовому – як експлуатаційні запаси відповідних типів підземних вод. Таким чином, до сфери зацікавленості ІЗДРВОПВ потрапляють усі питання, пов'язані з формуванням прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, впливом водовідбору (та інших факторів) на режим, баланс, якість підземних вод, а також фізичні (передусім ємнісно-фільтраційні) властивості водомісткого середовища, відповідно, і складові природного середовища, процеси та зовнішні чинники, що мають вплив на підземні води. Водночас ІЗДРВОПВ, як зазначалося вище, покликана гармонізувати відносини між людиною та гідрогеологічним середовищем, забезпечивши доступ до необхідної інформації та умови раціонального, заощадливого й оборотного водокористування.

Сьогодні очевидно, що в планетарному кругообігу води на передній план виходить орографічна дисиметрія, яка спільно з ландшафтно-кліматичними умовами, гідрографією, геолого-структурними особливостями та колекторськими властивостями порід визначає водоносність зон активного водообміну та регіонального стоку. У планетарній системі кругообігу та споживання води центральну позицію займає *ландшафт* (Falkenmark and Rockstrom, 2004), який вміщує всю мережу наземної (континентальної) гідросфери та неглибокі ґрунтові води. Саме через ландшафт проходять усі

різноспрямовані потоки води, які сполучають атмосферу, людську діяльність, океан і глибокі водоносні горизонти. Саме *води ландшафтів найчутливіші до сучасних кліматичних змін*. Отже, в умовах гідрогеологічної посухи (не зважаючи на відносно велику кількість опадів у 2021 р.), головними характеристиками інфогідрогеофреймів і предметами досліджень, що вимагають переоцінки та зміни підходів у користуванні, є ресурси і баланс ґрунтових і перших від поверхні горизонтів напірних вод.

Принципові *положення методології* ІЗДРВОПВ пов'язані з розумінням і визначенням окремих позицій, що стосуються підземних вод, а точніше їхніх прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів, залежності їх від ГС та значної кількості кліматичних, гідрологічних, геоморфологічних, екзогенних, ендегенних і, врешті, техногенних чинників. Сфера досліджень і використання підземних вод до цього часу вже має усталену термінологію, визначення понять. Проте, на нашу думку, бракує строгої підпорядкованості, єдиного формату та узгодженості між законодавчим, нормативним, методично-виробничим і науковим напрямками. Систему інформаційного забезпечення досліджень підземних і поверхневих вод, стану атмосфери, ландшафтів слід конструювати і наповнювати не за галузевим принципом, а *підпорядковано предмету досліджень*.

Геофреймова організація ІЗДРВОПВ охоплює кілька інформаційних шарів: 1. Ресурси: їхня кількісна характеристика, баланс; 2. Умови формування: характеристика динамічних чинників, у т.ч. клімату, техногенезу та сталих чинників середовища, у т.ч. ландшафту, геологічної будови; 3. Формування хімічного складу, геохімічний фон, бар'єрні здатності середовища; 4. Економічні важелі (пріоритети) розвитку регіону, що враховують використання підземних вод, адаптація та коригування економічної діяльності, виходячи з бар'єрних здатностей середовища. На цій основі поступово вибудовується і заповнюється інформацією інфогідрогеофрейм регіону, території, об'єкта. Гідрогеологічна *схематизація гідролітобіосфери* за принципами фреймової структурної організації ГС виконується за такими ознаками:

- тектонічно-формаційна належність підземних вод (платформна структура, гірськоскладчаста область; осадовий чохол – шарувато-пластова ємність; кристалічний фундамент – масивна тріщинна ємність, вулканогенний басейн);
- гідрогеологічна (гідродинамічна, гідрохімічна, газова тощо) зональність;
- ієрархія басейнів за гідродинамічними ознаками;
- гідрогеологічна стратифікація;
- хімічний склад і мінералізація;
- фільтраційні параметри та гідродинамічні характеристики;
- особливості водообміну та баланс;
- ресурси.

Доцільно розділити гідрогеологічні системи за *ступенем відкритості*, а чинники регулювання їхніх водних ресурсів згрупувати по межах цих гідродинамічних систем. У зв'язку із динамічністю підземної та поверхневої гідросфери, існуванням кругообігу води в природі та можливістю відновлення запасів підземних вод необхідно розділяти *поверхнево розташовані* гідродинамічні системи з високою здатністю до природного або штучного відтворення (*відкриті захищені та незахищені*) та *відносно ізольовані системи* – зі значно уповільненою здатністю до відновлення (*закриті захищені*). Тобто очевидно, що у верхній гідродинамічній системі

або зоні вільного водообміну складова швидко відновлюваних запасів буде більшою, ніж у зоні уповільненого водообміну. Тому має бути принципова різниця у підходах до оцінки експлуатаційних запасів підземних вод у цих зонах та в об'ємах водовідбору (дебітах водозаборів). Вона полягає в необхідності визначення для водоносних горизонтів *верхньої зони* експлуатаційних ресурсів з розрахунку дебітів водозабірних споруд, скомпенсованих динамічними ресурсами при 95 % забезпеченості складових живлення. У товщах зони уповільненого водообміну, що лежать нижче потужного регіонального водотриву, за таких саме витрат від 90 до 99 % водовідбору звичайно забезпечується ємнісними запасами, відтворення яких у часі незіставне із часом штучного вилучення. Такі системи слід вважати *незахищеними від кількісного виснаження*. Для експлуатаційних горизонтів цієї зони швидке відновлення рівнів після зупинки водовідбору відбувається завдяки значно переважній частці пружних запасів, а також газліфту – завдяки розширенню та вивільненню розчинених у воді газів. Повне ж відновлення відбудеться дуже нескоро, через тисячі років – після надходження води через області живлення та формування напору і збалансування хімічного складу. Для зони дуже уповільненого водообміну відновлення запасів виглядає ще більш проблематичним у зв'язку з її надвисокою гідродинамічною захищеністю, тобто перевищенням поля літогенних напорів системи в центральній її частині над напорами водоносних комплексів, що лежать вище, і наявністю потужних елізійних потоків розвантаження на периферії системи, які конкурують із зворотними потоками живлення із суміжних гідрогеологічних структур і верхніх поверхів даної структури. Очевидно, що в цьому сенсі розрахунки експлуатаційних запасів мають спиратися на значення темпів водообміну або *темпів відновлення запасів*. Для цього необхідно коректно розрахувати *ємнісні статичні* (за об'ємом пористого середовища) та *пружні запаси* експлуатаційного водоносного горизонту (комплексу).

Отже, привабливий для галузей промисловості, доступний за сучасними технічними засобами та економічно доцільний для людини обсяг підземного водного середовища має бути диференційований за *співвідношенням відновлюваних і не відновлюваних ресурсів питних підземних вод*. Якщо більш детально, то, крім ємнісних запасів (1), які порівняно швидко спрацьовуються, слід виділяти латеральну і вертикальну складові динамічних ресурсів підземних вод. У латеральному живленні виділяються: 2) частина ресурсів, що відновлюється природними водами ($Q_{длпр}$), які завжди (95 % забезпеченість) надходили до горизонту (комплексу) у непорушених умовах завдяки наявності градієнту латерального потоку (рис. 1); 3) частина динамічних ресурсів, що відтворюється за рахунок надходження техногенних (комунальні стоки, шахтні води), забруднених природних вод або штучних ресурсів (останні здебільшого не забруднені, $Q_{длш}$). Серед обсягів, що надходять за рахунок більш уповільненого вертикального перетікання, є води: 4) які потрапляють до пласта завжди (природне перетікання) ($Q_{двпр}$): а) не приводять до зміни хімічного складу за звичного надходження, б) призводять до зміни складу у результаті збільшення надходження (за умов створення значної різниці напорів у разі тривалої експлуатації); 5) залучаються лише за інверсії напорів суміжних горизонтів у порушених умовах ($Q_{двпор}$) (рис. 2): а) не приводять до метаморфізації хімічного складу, б) призводять до метаморфізації хімічного складу.

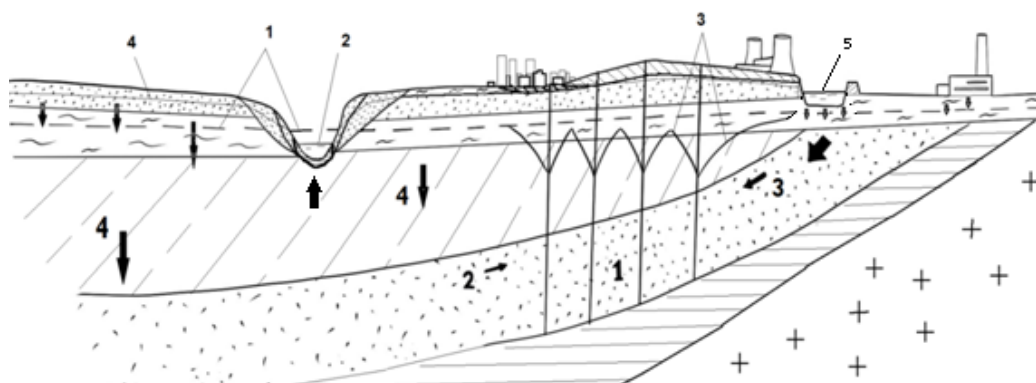


Рис. 1. Схема формування динамічних ресурсів у процесі експлуатації потужних міських і промислових водозаборів підземних вод у крайовій області артезіанського басейну:

1 – природний п'єзометричний рівень напірного експлуатаційного горизонту; 2 – рівень води в річці (область розвантаження напірного горизонту); 3 – депресія рівня підземних вод у районі водовідбору; 4 – рівень ґрунтових вод; 5 – штучна водойма.

Великими номерами позначено складові балансу експлуатаційних запасів:

1 – ємнісні запаси; 2 – природні динамічні ресурси даного горизонту $Q_{длпр}$; 3 – надходження природних і штучних ресурсів (техногенне живлення) забруднених природних вод ($Q_{длш}$) із зони поглинання (формування напору);

4 – природне вертикальне живлення в області живлення від першого з поверхні водоносного горизонту $Q_{двпр}$

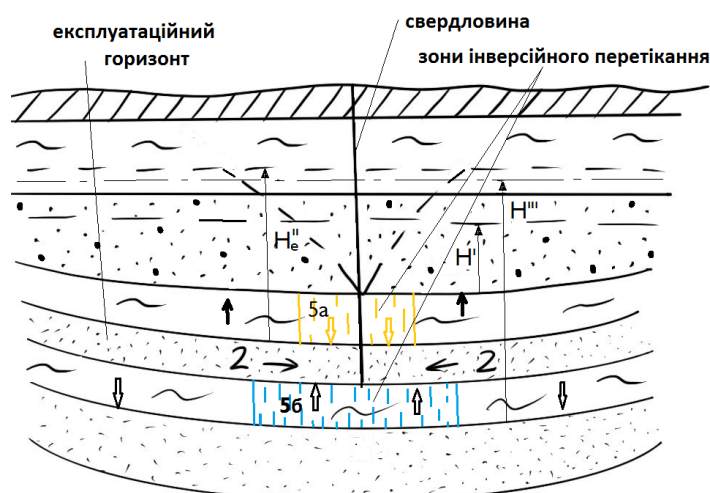


Рис. 2. Виникнення зон інверсійного перетікання (5, а – без загрози зміни хімічного складу, 5, б – із метаморфізацією хімічного складу) до експлуатаційного водоносного горизонту із слабозабезпеченими експлуатаційними запасами в області зниження його рівня

Ємнісні запаси, що заповнюють порове середовище на момент початку експлуатації, поділяються на пружні – лише для напірних вод ($W_n = \frac{\mu^* \cdot V}{t_1}$) та статичні

($W_c = \frac{\mu \cdot V}{t_2}$). Для безнапірних горизонтів (комплексів)

останні розраховуються за рівнів 95 % забезпеченості (рис. 2). Оскільки такі співвідношення змінюються в умовах експлуатації в часі (рис. 3), завданням прогнозування на постійно діючих гідродинамічних моделях є визначення моменту настання несприятливого співвідношення складових живлення, а саме – переважання складових 3, 4, б та 5, б.

Рівняння балансу має такий загальний вигляд:

$$Q_e = \left(\frac{\mu^* \cdot V}{t_1} + \frac{\mu \cdot V}{t_2} \right) + Q_{длпр} + Q_{длш} + Q_{двпр} + Q_{двпор} \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі породи; μ^* – коефіцієнт пружної водовіддачі пласта; V – об'єм водонасичених порід, осушених за час t .

Виникають підстави для введення поняття *допустимий баланс* експлуатаційних запасів. Баланс може

вважатися допустимим за таких співвідношень складових рівняння (1), за яких значення контрольованих санітарно-гігієнічних показників якості води не перевищують ГДК (для питних вод) або не виходять за межі встановлених кондицій (для мінеральних вод).

Таким чином, у системі ІЗДРВОПВ тісно змикаються *статичні*, у т.ч. структурні й речовинні характеристики гідрогеологічного середовища із *граничними умовами*, ступінь сталості яких обернено пропорційний рівню техногенного навантаження і прямо пропорційний захищеності та буферності гідродинамічної системи, а також обсягам *динамічних* ресурсів. У зв'язку із цим ми пропонуємо запровадити категоризацію експлуатаційних запасів підземних вод за ступенем їхньої забезпеченості природними ресурсами. Відповідно до категорії забезпеченості слід диференціювати обсяги водовідбору (для дуже слабозабезпечених – до 30 м³/добу, слабозабезпечених – до 50–100 м³/добу і т.п.) та способи водокористування: для дуже слабозабезпечених родовищ мінеральних вод – лише санаторне використання; для так само забезпечених родовищ питних вод – лише господарсько-питне водопостачання з обмеженням для санітарно-гігієнічного використання і т.п.

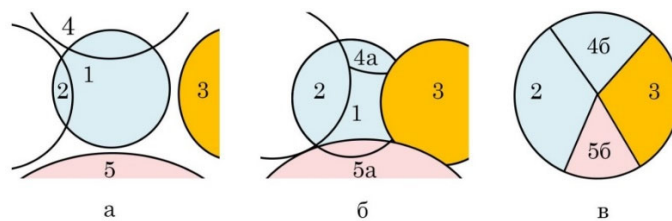


Рис. 3. Стадійність розвитку процесів залучення до водозабору, що в першу чергу використовує ємнісні запаси (1) родовища підземних вод, динамічних латеральних природних ресурсів (2), забруднених вод (3), зростання вертикального перетікання: із розташованого вище водоносного горизонту без істотного порушення хімічного складу (4, а), з порушенням хімічного складу (4, б); з горизонту, розташованого нижче – без метаморфізації якісного складу (5, а), з істотною метаморфізацією складу (5, б);
а – на початку експлуатації; б – через деякий, достатньо тривалий час після початку експлуатації;
в – наприкінці тривалої експлуатації

Граничні умови мають повністю виявляти зовнішні складові живлення та розвантаження, отже, інформаційний блок умовно сталих характеристик переходить до блока характеристик динамічних (рис. 4), які можна об'єднати поняттями *водообмін* і *баланс*.

Якщо виходити з підпорядкованості підземної гідро-сфери геологічному середовищу та спиратися на виділення складових частин підземної гідросфери за принципом *співвідношення невідновлюваних запасів і відновлюваних ресурсів*, у структурі характеристик і чинників, що визначають змістовну функцію гідрогеологічного середовища у водозабезпеченні всіх напрямів діяльності людини, будемо виділяти два блоки (рис. 4):

1. *Структурно-формаційний блок* – характеристика умов розподілу природних запасів підземних вод референтної гідрогеологічної структури (ємності, басейну). Виділяється група факторів, які уособлюють особливості будови структурно-тектонічної формаційно-речовинної матриці. Це чинники або характеристики геологічного середовища, що відповідають за характер накопичення і розподілу підземних вод у зональній та багатоповерховій товщі земної кори, забезпечують колекторські або водотривкі властивості, первинний хімічний склад підземних вод до початку дії активного водообміну та втручання людини. Структурно-літологічний чинник є вирішальним в разі виділення геологічних меж родовищ, створення ізолюваних (у покрівлі та підшві) і замкнених (з боків) водоносних систем, тобто він відповідає за ємнісні запаси та визначає можливість і швидкість їхнього відновлення.

2. *Функціональний блок* – характеризує та забезпечує умови формування *динамічних ресурсів* (живлення, розвантаження і поточний баланс). Складається із трьох груп факторів: 1 – внутрішні термогідродинамічні, що визначають розподіл напорів і напрямки переміщень підземних вод усередині системи та їхній вихід за межі системи, поверху, гідродинамічної зони (зовнішнє розвантаження); 2 – зовнішні чинники, що впливають на довготермінові процеси поповнення (відновлення) запасів підземних вод, а також обумовлюють поточний баланс або стан водності відкритих гідродинамічних систем (горизонтів, комплексів); 3 – ландшафтно-біогеохімічні (Шевченко, 2016), що впливають на динаміку водообміну (живлення–розвантаження), захищеність, формування хімічного складу вод зони інтенсивного водообміну.

За формування якості підземних вод так чи інакше відповідають усі складові обох блоків (рис. 4). Величезною є роль глибинної флюїдної складової в процесах діагенезу, епігенетичних перетворень порід, метаморфізму, метасоматозу та рудоутворення в широкому діапазоні температур і тисків (Fyfe et al., 1978; Shmulovich et al., 1994; Ague, 2003; Лукин, 2014; Шестопапов и др., 2018). Повертаючись до понять *природно-господарських* і *природно-техногенних гідродинамічних систем*,

необхідно зауважити, що, крім глобальних природних процесів формування складу підземних вод, у сучасних умовах антропогенного впливу генеруються складні циклічні або ланцюжкові техногенні процеси, які призводять до метаморфізації складу підземних вод. Так, постійна взаємодія підземних вод з водомісткими породами у відновних умовах забезпечує стійкий баланс розчинених у воді макро- та мікрокомпонентів. Проте штучне порушення цього режиму часто зумовлює трансформацію хімічного складу підземних вод унаслідок надходження вод іншого хімічного складу, кисню, "запуску" процесів сірчаноокислого вилугування, гідролізу тощо. Отже, якість підземних вод та її зміни в часі в умовах експлуатації тісно пов'язані із *ступенем забезпеченості* експлуатаційних запасів підземних вод динамічними природними ресурсами тієї ж якості. Слабо та дуже слабозабезпеченими слід вважати ізолювані водоносні горизонти мінеральних вод із дуже обмеженим живленням в невеликих замкнених мульдоподібних структурах, напірні водоносні горизонти з двома накладеними областями вертикального розвантаження (рис. 2), окремі родовища мінеральних і промислових вод інжекційного типу та деякі інші.

Баланс підземних вод істотно порушений і має останніми роками від'ємні значення не лише внаслідок водовідбору, браку живлення під час глобального потепління, а й завдяки накладеній дії останнього на створений людиною несприятливий агроландшафтний фон. Хоча першопричинами згадуваної вище низької водозабезпеченості жителів України є переважно природні чинники, проте в умовах потепління клімату наростання дефіциту водних ресурсів відбувається вже через іншу причину – значну розораність території країни. За даними на 2019 р. Україна, з орною площею 33,5 млн га (56,1 % від загальної площі країни), посідає у світовому рейтингу відносно розораності земель перше місце у світі. Для прикладу, у Польщі, яка теж вважається аграрною країною, – 35,7 %, у Франції – 33,5 %. Понад 70 % території нашої держави займають сільгоспугіддя, тобто відкриті ґрунти. Якщо в умовах гумідного клімату розораність поверхні ґрунту сприяє надходженню атмосферних опадів до ґрунтових вод (та й то не завжди), то в умовах аридизації – навпаки, негативно позначається на інфільтраційному живленні та відновленні запасів ґрунтових вод. Якщо ж додати ще й зниження рівнів води в річках, то спрацювання запасів ґрунтових вод ще більше пришвидшується.

Аридизація клімату змушує шукати гарантовані джерела забезпечення вологою сільськогосподарських угідь для позбавлення залежності від посух, оскільки поверхневий стік (крім великих водосховищ) може виявитися недостатнім. У світі значна частина підземних вод, що видобуваються, уже сьогодні використовується

для зрошення (67 %), 22 % – для задоволення господарсько-питних потреб і лише 11 % – для потреб промисловості. Із підземних вод в Україні в сільському господарстві використовується поки що лише 11 %

(у т.ч. 1 % – на зрошення), у комунальному господарстві – близько 78 %, у промисловості – 10,7 % і 0,3 % іде на бутелювання та виготовлення напоїв.

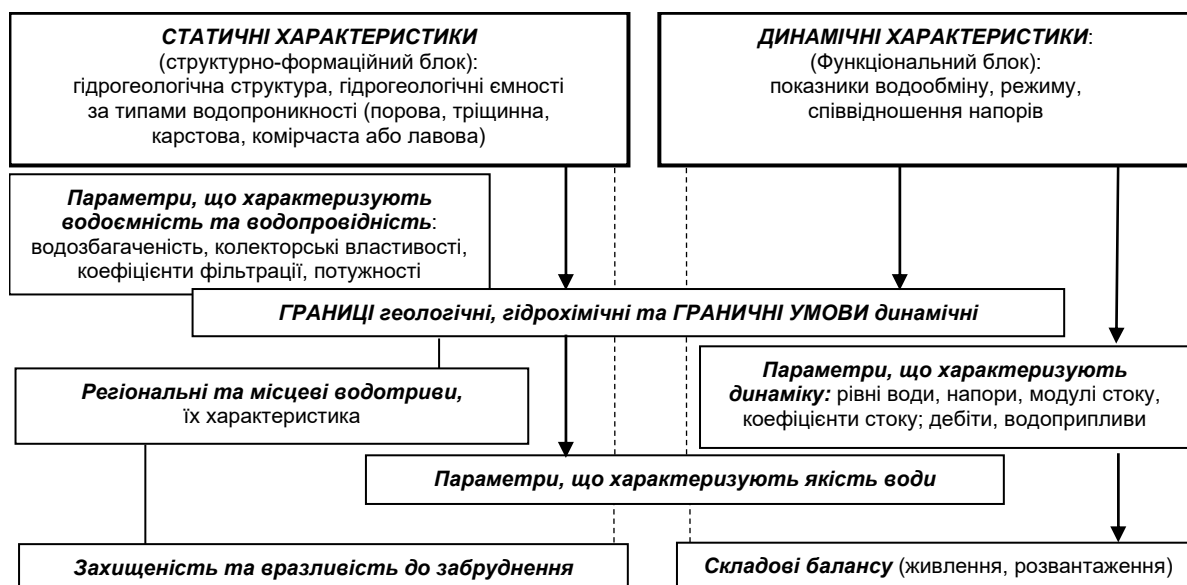


Рис. 4. Мінімальний набір необхідних даних, що характеризують не порушені гідрогеологічні умови, уніфікована структура абстрактного інфогідрогеофрейму

Застосування ІЗДРВОПВ для розв'язання сучасних проблем водопостачання. В умовах впливу глобального потепління на водні ресурси, що накладається на інтенсивне використання підземних вод (у першу чергу для господарсько-питного водопостачання та зрошення) необхідно вчасно змінювати пріоритети у джерелах водокористування. Очевидно, що використання підземних вод відбувається в більших обсягах і за значно менший час, ніж їхнє природне відновлення. Із зростанням середньорічної температури повітря більше за 0,5 °C/10 років (що відбулось у 2013–2017 рр.) та аномальним зменшенням кількості опадів в окремі роки (2015, 2019 рр. – до 99 % забезпеченості) інфільтраційне живлення ґрунтових вод істотно знизилось. На площах, де РГВ не вийшли за межі середньобаторічних значень (лівобережна частина водозбору у верхів'ях р. Південний Буг, рис. 5) та наявне напірне живлення ґрунтових вод, помітно, що реакція РГВ на збільшення живлення більш швидка, ніж на його зменшення. Унаслідок падіння рівнів води в річках, що дуже швидко реагують на брак опадів, зросли градієнти підземного стоку, а отже, і обсяги підземного відтоку до річок, відносна складова підземного живлення яких збільшилась. Без своєчасного та достатнього природного відновлення запаси ґрунтових вод почали інтенсивно спрацьовуватись, що викликало істотне зниження їхніх рівнів. У результаті в зоні аерації зростає потужність не капілярної облямівки та області транзиту, а лише верхньої її підзони – неусталеного зволоження. Саме на насичення та втрати на випаровування з цієї частини зони аерації, яка зросла подекуди на 200 %, витрачається основна частина атмосферних опадів. Тому рівні ґрунтових вод у теплий період року можуть знижуватись навіть у періоди випадіння дощів. Таким чином, на вододілах РГВ знижуються переважно внаслідок браку живлення, а на терасах і схилах долин річок, крім цього, ще й за рахунок бокового відтоку. Отже, на вододілах, якщо РГВ устанавлюються нижче критичної глибини,

вони відносно стабілізуються і коливаються з певною річною амплітудою на нижчих відмітках. Тут режим переходить від суто інфільтраційного до інфільтраційно-конденсаційного, тоді як у долинах річок – від інфільтраційно-прирічкового до інфільтраційно-випарного та випарного. Зменшення живлення ґрунтових вод і падіння їхніх рівнів обумовило й деяке зниження рівнів у розташованих під ними субнапірних і напірних горизонтах. До речі їхні пружні запаси також спрацьовуються, не в останню чергу внаслідок появи та збільшення від'ємної різниці між РГВ і рівнем напірних вод у долинах річок. Натомість РГВ, за наявності напірного живлення, знижуються не настільки інтенсивно, як за його відсутності.

Навіть помітне збільшення кількості опадів у 2021 р. веде спочатку лише до нарощування рівнів води в річках і зменшення припливу до них підземних вод. Тобто процес спрацювання запасів ґрунтових вод у не порушених людиною умовах (без водовідбору) наразі призупинився. Проте відновлення РГВ потребує тепер (у результаті збільшеній потужності зони аерації) значно більшого часу, що регулюється водоутримувальними здатностями порід зони аерації, температурою приземного повітря та кількістю опадів (на локальних ділянках слід урахувувати тектоніку, напірне живлення та багато інших чинників). Якщо ж остання буде в багаторічному плані встановлюватися відповідно до зміненої зональності (значно розширились на північ степова (арідна) і лісостепова зони незначного та недостатнього зволоження), то цієї кількості все одно не вистачить для повного відновлення рівнів і вони встановляться на глибинах, характерних для більш посушливих широт. Таким чином, за даних умов у басейні р. Південний Буг за браку глибоких артезіанських вод у маловодні періоди та на початку багатоговодного слід використовувати зарегульовані поверхневі води водосховищ, сприяючи відновленню запасів ґрунтових вод, а в багатоговодні – підземні води, сприяючи зворотному фільтраційному відтоку вод з водосховищ.

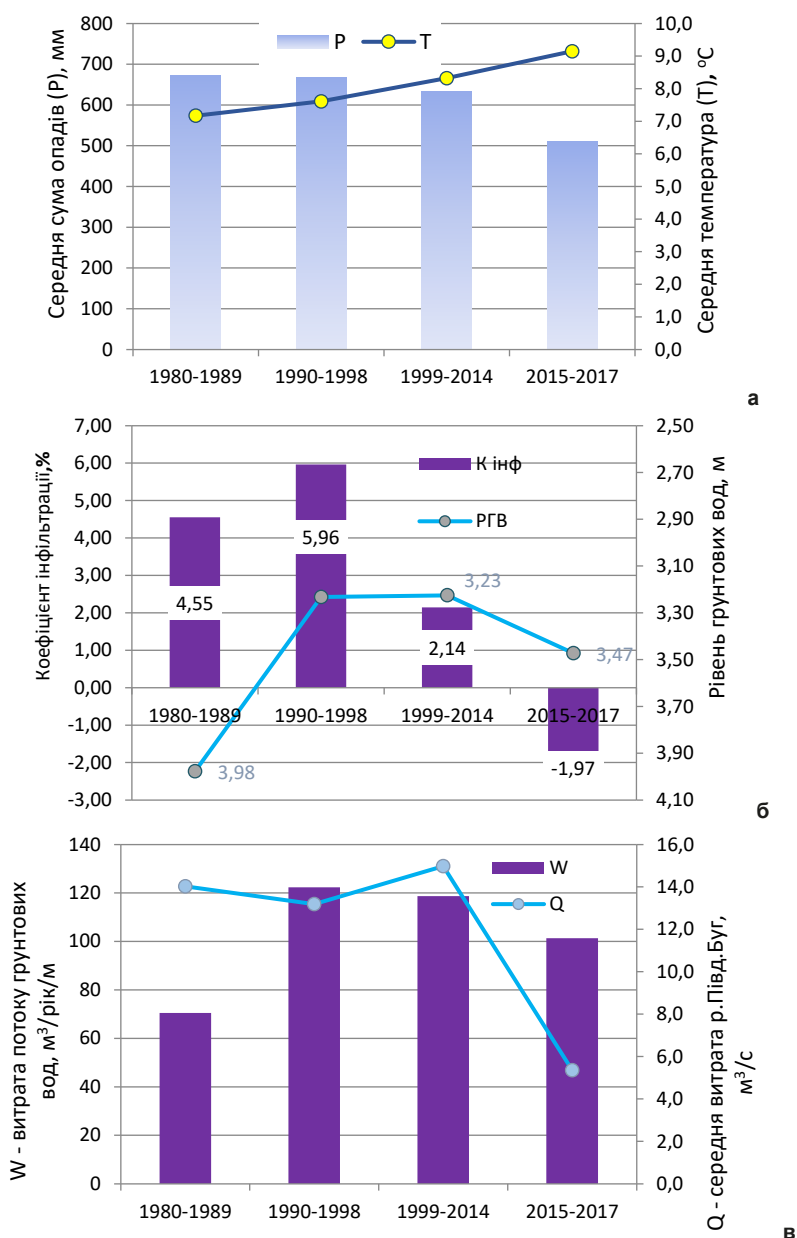


Рис. 5. Вибіркові складові інфогідрогеофрейму (локальний водозбір), що відповідають за формування запасів ґрунтових вод при РГВ 2,7–4,5 м:

а – кліматична складова; б – показники живлення та режиму; в – показники ресурсів поверхневих і ґрунтових вод

Наведений скорочений аналіз сучасного стану ресурсів підземних і поверхневих вод став можливим завдяки зображенню басейнів підземних вод у форматі інфогідрогеофреймів, де всі складові пов'язані балансовими, циклічними та "нейронними" зв'язками. При цьому вибудовано та наповнено поточною інформацією низку фреймів від точкового ("зона аерації – РГВ"), локального (свердловини – річка) до регіонального (водозбори – області розвантаження) рівнів. Крім кількісних характеристик, інфогідрогеофрейми наповнюються і якісними характеристиками. Це також відрізняє ІЗДРВОПВ на основі фреймової організації від ГІС, в яких прийнято вирішувати вузькі галузеві прогнози та поточні завдання без широкої ретроспективи. Отже, система фреймів у гідрогеології привчає до комплексного бачення причинно-наслідкових зв'язків, розгляду підземних вод в єдиній системі: атмосфера (клімат) – наземна гідросфера – підземна гідросфера, з усіма перехідними ланками (зона аерації, водотриву), що на

жалі, досі не практикується. Достатньо згадати розрізнену систему моніторингу поверхневих і підземних вод, в якій відсутні суміщені створи.

Стратегічні засади заощадливого водокористування. В умовах зменшення обсягів поверхневого стоку доведеться все більше переходити на його регулювання шляхом спорудження гребель, водосховищ, ставків. За цих умов підземний стік у річки в районах водосховищ практично зникає, проте зростає зворотне живлення підземних вод поверхневими. Найбільш раціональною стає система берегових водозаборів (як у м. Івано-Франківськ та ін.), що відбирають відфільтровану через алювіальні відклади воду, яка за своєю якістю значно перевищує поверхневу. Крім того, використовуючи водосховища, можна розподілити в часі послідовне використання поверхневих і підземних вод, у маловодні періоди – води глибоких горизонтів (в артезіанських басейнах) і водосховищ, у багатоводні – води водосховищ і перших від поверхні горизонтів (для

запобігання підтоплення). Регулювання такої *комбінованої системи використання водних ресурсів* (КСВВР) має забезпечуватися досконалою інформаційною системою. У зв'язку зі створенням КСВВР слід упорядкувати, а в окремих випадках і обмежити, доступ і використання підземних джерел централізованого підземного водопостачання, як місцевого, так і державного стратегічного значення, створити систему державного гідролого-гідрогеологічного моніторингу, що дозволить визначати стік підземних вод у річки та фільтраційні втрати з водосховищ.

Сьогодні значна кількість експлуатаційних свердловин, переважно приватних господарств, не перебуває на обліку. За офіційними даними питомий водовідбір підземних вод в Україні становить приблизно 0,1 тис. м³/людину/рік (приблизно як у Франції, Німеччині, Угорщині, Норвегії), проте ця цифра може виявитись істотно вищою. У першу чергу слід поставити на облік експлуатаційні свердловини всіх підприємств, запаси експлуатаційного водоносного горизонту, якість підземних вод і спосіб їхнього використання підприємством. *Призначення підземних вод за способом використання* є одним із ключових питань. Скажімо, підземні води сеноман-келовейського (верхня крейда-середня юра) та байоського (середня юра) водоносних горизонтів у Київській та Чернігівській областях необхідно заборонити для технічного використання (крім використання у харчовій промисловості). Слід вважати неприпустимим використання питних підземних вод на промислові потреби (крім виготовлення харчової продукції) і, за наявності альтернативи, переключати такі підприємства на використання поверхневих вод, або підземних водоносних горизонтів з менш якісними водами. Такі процедури повинні регулювати регіональна гідрогеологічна служба, Державне агентство водних ресурсів та ДКЗ України.

Шкідливу дію води (підтоплення, вторинне заболочування, карст, зсуви, просідання поверхні тощо) доцільно нейтралізувати шляхом її відбору та використання. Для зменшення та унеможливлення шкідливої дії скидних вод необхідно максимально спрямовувати їх на оборотне використання або на *перетворення у джерело енергії*. Ресурси вод низької якості можуть бути використані для потреб *водневої енергетики*. Перспективи здійснення такого проекту базуються на наявності технологій виробництва "зеленого" водню із застосуванням нетрадиційних джерел енергії та надлишків традиційної електроенергетики.

До вод *господарсько-питного* призначення відносять прісні води доброї якості та умовно-питні, слабко-солонуваті води з мінералізацією до 1,5 г/дм³. *Технічні* води мають незадовільну якість та/або підвищену мінералізацію, застосовуються для господарсько-побутових цілей, миття доріг, транспортних засобів. За кордоном їх використовують в паралельних лініях комунального водозабезпечення для побутово-технічних цілей. *Технологічними*, на відміну від технічних, можуть бути води широкого діапазону мінералізації, від низько-мінералізованих (< 1,0 г/дм³), що здебільшого використовують у харчовій галузі, фармакології, до слабких розсолів – для промивання риби та ікри перед засолкою тощо. Технологічні води можуть бути використані й для отримання енергетичного водню шляхом електролізу. Тобто це води, які використовують для виготовлення промислової продукції. Серед *мінеральних вод* слід виділяти в першу чергу питні та бальнеологічні – для зовнішнього лікування. Питні мінеральні поділяються на природні столові широкого застосування,

лікувально-столові та лікувальні (*Інструкція...*, 2002; *Класифікація...*, 2003).

У практиці геолого-економічної оцінки родовищ підземних вод і погодження спецдозволів на користування надрами варто було б залишити переоцінку запасів через п'ять років для родовищ у складних умовах, із запасами, затвердженими за категоріями В і С₁. На таких родовищах здебільшого існує невизначеність щодо умов формування експлуатаційних запасів або хімічного складу підземних вод, а також ризик втрати їхніх кондицій. Тому тут, керуючись стратегією заощадливого, раціонального водокористування доцільно продовжувати не лише формальне звітування за формою 2-ТП (Водгосп), а й регулярний моніторинг водовідбору та якості води.

Інфогеологічне моделювання. Інформаційне моделювання є основним робочим інструментом ІЗДРВОПВ. Розроблено універсальний методологічно-методичний апарат інформаційного моделювання, що призначений для забезпечення різних напрямів поводження з геологічним середовищем (*Khrushchov et al.*, 2019, 2020). Для підземного водного середовища цей апарат має певні особливості. Традиційні ієрархічні структурні підрозділи підсистеми підземних вод (басейн – поверх – водоносний комплекс – водоносний горизонт – однорідний шар) по суті становлять єдність вмісної твердофазної матриці й водної маси, що заповнює її об'єм. Для цільового моделювання такої системи прийнятні принципи методичного комплексу різномасштабної дії – прогнозно-палеорекоструктивного ретроспективно-статичного моделювання (ППРПСМ) і комплексної еколого-геологічної моделі (КЕГМ) (*Хрущов и др.*, 2017) з відображенням гідрогеологічних (гідродинамічних і гідрохімічних) складових.

Проблеми управління водними ресурсами, які стосуються як поверхневих, так і підземних вод, найкраще розв'язувати за допомогою імітаційних моделей. Загалом для всіх видів поводження з підземними водами можна виділити кілька принципових *груп моделей*: 1) гідрогеологічні концептуальні моделі (*Bredheoht, 2005; Michalaka et al., 2011*); 2) гідродинамічні (*Bethke, 1989*); 3) гідрохімічні (у тому числі забруднення) (*Bear and Verruijt, 1987*); 4) експлуатаційні (*Szymanko, 1980*); 5) кліматично-гідрогеологічні (система взаємодії атмосфера – поверхневі води – зона аерації – підземні води) (*Fan et al., 2007*). Під час установаження об'єктності досліджень і робіт й у виборі конкретних об'єктів стає можливим використання методичного апарату *комплексної еколого-геологічної моделі* (КЕГМ) (*Khrushchev et al.*, 2019). КЕГМ – це цільова комбінована модель високого порядку, яка може складатися із кількох предметних моделей підлеглих рангів, про які згадувалось вище. Склад комплексу предметних моделей визначається головним цільовим об'єктом, що досліджується та буде використаний (використовується). Для загального випадку КЕГМ має складатися щонайменше з двох складових: водомістких і водотривких порід (геологічні тіла) і рухливої складової (вода та розчинені в ній речовини). Вони являють водообмінну систему, що міститься чи проходить у рамковому об'ємі (фреймі) цього породного масиву за певний час.

Створення та впровадження *геоінформаційних систем* (ГІС) водних і водогосподарських об'єктів є одним із пріоритетних напрямів розвитку системи управління водними ресурсами. ГІС дозволяють у зручній формі збирати, зберігати, обробляти, візуалізувати як числові чи семантичні характеристики цих об'єктів, так і їхні просторові координати, швидко будувати тематичні карти для

підтримки та прийняття управлінських рішень, аналізувати дані з урахуванням рельєфу місцевості тощо (Мокін та Крижановський, 2016). Інформаційним забезпеченням даними про стан природного середовища, у тому числі експлуатаційних запасів підземних вод та їхньою первинною обробкою безумовно повинні займатися регіональні (територіальні) центри моніторингу, які запропоновано (Лютый та ін., 2017) створити на базі гідрогеологічних партій державних регіональних геологічних підприємств Державної служби геології та надр України. Запис метаданих до інформаційної формалізованої бази даних моніторингу слід виконувати в Профільні INSPIRE Європейського Союзу мовою XML згідно з вимогами ISO 19115 і 19139.

Окремо слід позначити перспективи впровадження принципів фреймової організації в систему ІЗДРВОПВ (Khrushchov et al., 2020). Завдяки своєму наповненню ІЗДРВОПВ здатне забезпечити вирішення багатьох різномасштабних завдань, зокрема – покриття України регіональними гідродинамічними моделями та перехід до створення локальних моделей окремих родовищ підземних вод. Виходячи із системно-організаційної логіки та галузевих пріоритетів, після завершення геолого-гідрогеологічної зйомки України масштабу 1 : 200000, доцільно розпочати програму регіонального відображення гідродинамічних умов саме у вигляді цифрових (тривимірних) моделей, на відміну від сталої геологічної основи. Спочатку необхідно забезпечити покриття України регіональними гідродинамічними моделями того ж масштабу (1 : 200000), що передбачає формулювання в кожному випадку завершення гідрогеологічного циклу та чіткої схематизації граничних умов у межах водних тіл – гідрогеологічних структур, їхніх частин або гідрогеологічних ємностей чи басейнів. Згідно з Європейською рамковою директивою всі ці підрозділи належать до гідрогеологічних масивів різного порядку (Chiang and Kinzelbach, 2001). Для формалізації та структурного підпорядкування цих підрозділів в електронному цифровому форматі ми пропонуємо ввести принцип фреймової організації ГС.

Після надання місцевому самоврядуванню вирішальних повноважень з використання земель почастішали випадки необґрунтованого блокування об'єктів економіки державного значення. Зупинились роботи з обґрунтування та обговорення надзвичайно важливого для соціального відродження Полісся та всієї економіки України транскордонного проекту відновлення судноплавства від Балтійського до Чорного моря системою річок басейнів Вісли та Дніпра. Очевидно, що розчищення русел річок на території Білорусі дозволить залучити до України значні додаткові обсяги водних ресурсів за рахунок дренавання ґрунтових вод з перезвожених територій. Слід забезпечити інформаційний доступ догромадського обговорення геоекологічних питань, а також винесення фахових неупереджених рішень в інтересах держави з цього приводу.

Сучасний стан фінансування та розвитку гідрогеологічної науки, її поживлення та актуалізації значною мірою залежить від участі гідрогеологів в обґрунтуванні масштабних економічних проєктів і розробці науково-прикладних завдань державного рівня. На жаль, подібні великі державні засадничі гідрогеологічні програми розроблялись уже досить давно. З останніх можна згадати розробку комплексу пообласних карт захищеності підземних вод (М 1 : 200000) у 70–80-ті рр. минулого сторіччя; державну геолого-гідрогеологічну зйомку масштабу 1 : 200000 (початок 2000-х – донині); серію робіт з водообміну в гідрогеологічних структурах України

великого колективу авторів під керівництвом академіка В.М. Шестопалова (1987–2001); оцінка ризиків забруднення водозаборів після катастрофи на ЧАЕС та обґрунтування альтернативних джерел водопостачання. Подібним великим проєктом могло б стати покриття України регіональними моделями та систематизація локальних моделей родовищ питних вод великих міських водозаборів, що вже створені для багатьох міст України (Шестопалов та ін., 2019, 2020), а також наповнення інформацією презентованої нами системи ІЗДРВОПВ.

Висновки. Перспективи розвитку наряду. В умовах послідовного виснаження ресурсів підземних вод в Україні, особливо чистих питних вод високої якості, головним пріоритетом у галузі поводження з підземними водами має бути організація системи їхнього ефективного й заощадливого використання та охорони на основі сучасного наукового обґрунтування та інформаційного забезпечення. Це визначає актуальність розробки теорії ІЗДРВОПВ. Методологія інформаційного забезпечення засновується на принципах цільового інфогеологічного структурування геологічного середовища на базі традиційних прийомів формалізованого аналізу з деталізацією гідрогеологічних умов. Основний методичний апарат інформаційного забезпечення – інфогеологічне моделювання, що базується на принципах побудови різномасштабних прогнозних, епігнозних і комплексних еколого-гідрогеологічних моделей геологічних об'єктів.

Подальший розвиток теорії ІЗДРВОПВ має бути пов'язаний із системою фреймової (точніше – інфогідрогеофреймової) організації гідролітобіосфери, принципи якої представлено в даній роботі. Інфогідрогеофрейм, що є складовим елементом ІЗДРВОПВ, являє собою відображення певного класу гідрогеологічних об'єктів або конкретного гідрогеологічного об'єкта, яке може бути застосовано для пізнання та цільового дослідження з метою використання гідрогеологічного середовища.

Наведені теоретичні основи ІЗДРВОПВ становлять основу для інноваційного корегування методичного і нормативно-законодавчого забезпечення головних напрямів поводження з підземними водними ресурсами в умовах їхнього виснаження. Для цього запропоновано ввести поняття "допустимого балансу" за співвідношенням невідновлюваних ємнісних запасів і відновлюваних динамічних ресурсів. Необхідними кроками на шляху розвитку міжгалузевої системи ІЗДРВОПВ має стати розбудова мережі гідролого-гідрогеологічного моніторингу, створення регіональних і локальних (для окремих родовищ) гідродинамічно-кліматичних моделей.

У межах послідовного впровадження теоретичних основ ІЗДРВОПВ у практику необхідно виконати нормативну регламентацію використання підземних джерел водопостачання з метою їхнього збереження. Для цього: використовувати їх лише за цільовим призначенням; упровадити комбіноване використання поверхневих і підземних вод на великих централізованих водозаборах; диференціювати обсяги водовідбору та способи водокористування залежно від категорії (ступеня) забезпеченості експлуатаційних запасів природними ресурсами.

Список використаних джерел

- Данилишин, Б.М., Дорогунцов, С.І., Міщенко, В.С. та ін. (1999). Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. Київ.
Джамалов, Р.Г., Сафронова, Т.І. (2009). Ресурсы подземных вод: их изменение под влиянием климата и распределение по странам мира в начале XXI века. *Георазрез: электронное научное издание*, 1–32.
Іванов, Є.А. (1997). Ландшафти гірничопромислових територій. Львів.

Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ мінеральних підземних вод. (2002). ДКЗ України.

Камзіст, Ж.С., Шевченко, О.Л. (2008). Гідрогеологія України : навч. посібник. Київ.

Классификация минеральных вод Украины. (2003). Монография. Под. ред. Шестопалова В.М. Киев.

Клепов, В.И. (2010). О гидрогеологических основах моделирования и обоснования совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе. *Мат-лы междунар. науч. конф. "Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования"*, 13–14 мая 2010 г., Москва, 235–242.

Ковалевский, В.С. (1996). Гидрогеологическое обоснование совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе. *Водные ресурсы*, 4, 472–481.

Лукин, А.Е. (2014). Флюидный литогенез – важнейшее направление литологических исследований в XXI ст. *Геол. журнал*, 4 (349), 27–42.

Лютый, Г.Г., Люта, Н.Г., Саніна, І.В. (2017). Шляхи до розвитку моніторингу експлуатаційних запасів питних підземних вод. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 1–2, 209–217.

Минкин, Е.Л., Храмович, И.Л. (1996). Учет взаимодействия поверхностных и подземных вод в математической модели выбора оптимальных параметров водохозяйственных систем. *Водные ресурсы*, 3, 376–382.

Мироненко, В.А., Румынин, В.Г. (1998–1999). Проблемы гидрогеологии. Моногр. . в 3 т. Москва.

Мокін, В.Б., Крижановський, Є.М. (2016). Стан створення геоінформаційних систем водних та водогосподарських об'єктів України // Раціональне використання та відновлення водних ресурсів; за ред. В.П. Феценка : моногр. – Р-27. Житомир, 29–36.

Стан підземних вод України у 2019 році. (2020). Щорічник. К. : ДНВП "ГЕОІНФОРМ України".

Техногенные процессы в подземных водах (биосферный подход, диагностика и управление). (2003); под ред. Гавиц И.К.. Москва.

Хрущов, Д.П., Ковальчук, М.С., Ремезова, Е.А., Лаломов, А.В., Цымбал, С.Н., Босевская, Л.П., Лобасов, А.П., Ганжа, Е.А., Дудченко, Ю.В., Крошко Ю.В. (2017). Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис.

Шевченко, А.Л., Осадчий, В.И., Бабушкина, Р.А., Чарный, Д.В. (2019). Актуализация проблемы учета ресурсов подземных вод в условиях глобального потепления. *Мат-ли міжнар. наук.-практ. конф. "Роль наук про Землю в народному господарстві. Стан та перспективи"*, 20 бер. 2019 р., Херсон, 317–323.

Шестопалов, В.М., Лукин, А.Е., Згонник, В.А., Макаренко, А.Н., Ларин, Н.В., Богуславский, А.С. (2018). Очерки дегазации Земли. Киев.

Шестопалов, В.М., Стеценко, Б.Д., Руденко, Ю.Ф. (2019). Підземні води верхньосарматського водонасиченого горизонту як резервне джерело питного водозабезпечення Миколаєва (Україна). *Геологічний журнал*, 2(367), 5–17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169930>

Шестопалов, В.М., Стеценко, Б.Д., Руденко, Ю.Ф. (2020). Проблеми питного водозабезпечення Маріуполя і пропозиції щодо їхнього вирішення за рахунок підземних вод. *Геологічний журнал*, 1, 3–16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974>

Шестопалов, В.М., Сухоребрий, А.А. и др. (1989). Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях. Киев.

Яковлев, В.В. (2012). Залишкові запаси реліктових прісних вод у колекторах української частини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. *36. наук. праць Інституту геохімії навоколишнього середовища*, 20, 134–138.

Ague, J.J. (2003). Fluid flow in the deep crust / H.D. Holland, K.K. Turekian // *Treatise on geochemistry*. Amsterdam: Elsevier. – 1.3, 203–247.

Bear, J., Verruijt, A. (1987). Modeling groundwater flow and pollution (theory and applications of transport in porous media). D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.

Bethe, C.M.(1989). Modeling subsurface flow in sedimentary basins. *Geologische Rundschau*, 78, 129–154.

Bredehoeft, J.D. (2005). The conceptualization model problem: surprise. *Hydrogeology J.*, 13, 37–46.

Chiang, W.-H., Kinzelbach, W. (2001). 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg.

Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52–58. doi:<https://doi.org/10.1038/nclimate1633>.

Falkenmark, M., Rockstrom, J. (2004). Balancing water for humans and nature // The new approach in ecohydrology. London: Sterling, VA. 247.

Fan, Y., Miguez-Macho, G., Weaver, CP, Walko, R, Robock, A (2007). Incorporating water table dynamics in climate modeling: 1. Water table observations and equilibrium water table simulations. *J Geophys Res.*, 112, D10125. doi:10.1029/2006JD008111.

Fyfe, W.S., Price, N.J., Thompson, A.B. (1978). Fluids in the Earth's crust. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier.

Khrushchov, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Y., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevskaya, L.P., Pochtarrenko, V.I., Okholina, T.V. (2019). Formation algorithms for the theory of information support for research and works on geological environment management. *Geoinformatika*, 1 (69), 70–90.

Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L. et al. (2020). The theory of

information providing for researches and works on geological environment management. *Proceedings 19-th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine. Art. no. 17980, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo012>

Michalaka, J., Nawalanogoi, M., Sadurskiego, A. (Eds.). (2011). Schematyzacja warunków hydrogeologicznych potrzeby numerycznego modelowania przepływu JCWPd. Warszawa: Państwowy Inst. Geologiczny – Państw. Inst. Badawczy.

Shevchenko, O., Osadchiiy, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings 18th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine. Art. no. 15890.

Shmulovich, K.I., Yardley, B.W.D., Gontchar, G.G. (1994). Fluids in the crust. London : Chapman & Hall.

Szymanko, J. (1980). Koncepcje system wodonosnego i metodj ego modelowania. Wyd. Geol. Warszawa.

References

Ague, J.J. (2003). Fluid flow in the deep crust. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. *Treatise on geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1 (3), 203–247.

Bear, J., Verruijt, A. (1987). Modeling groundwaterflow and pollution (the ory and applications of transport inporousmedia). D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.

Bethe, C.M.(1989). Modeling subsurface flow in sedimentary basins. *Geologische Rundschau*, 78, 129–154.

Bredehoeft, J.D. (2005). The conceptualization model problem: surprise. *Hydrogeology J.*, 13, 37–46.

Classification of mineral waters of Ukraine. (2003). Monograph. Eds. of Shestopalov, V.M. Kiev. [in Russian]

Chiang, W.-H., Kinzelbach, W. (2001). 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Berlin, Springer, Heidelberg.

Dai, A. (2013). Increasingdrought underglobal warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52–58. doi:<https://doi.org/10.1038/nclimate1633>.

Danylyshyn, B.M., Doroguntsov S.I., Mishchenko V.S. et al. (1999). Natural resource potential of sustainable development of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian]

Dzhamalov, R.G., Safronova, T.I. (2009). Groundwater resources: their change under. Climate Influence and distribution by countries of the world at the beginning of the XXI century. *Georez: Electronic Scientific Edition*, 1–32. [in Russian]

Falkenmark, M., Rockstrom, J. (2004). Balancing water for humans and nature. In: The new approach in ecohydrology. London : Sterling, VA.

Fan, Y., Miguez-Macho, G., Weaver, CP, Walko, R, Robock, A (2007). Incorporating water table dynamics in climate modeling: 1. Water table observations and equilibrium water table simulations. *J Geophys Res.*, 112, D10125. doi:10.1029/2006JD008111.

Fyfe, W.S., Price, N.J., Thompson, A.B. (1978). Fluidsinthe Earth's crust. Amsterdam–Oxford–NewYork: Elsevier.

Instructions for the application of the Classification of reserves and resources of minerals of the state subsoil fund to mineral groundwater deposits. (2002). DKZ of Ukraine. [in Ukrainian]

Ivanov, E.A (1997). Landscapes of mining areas. Lviv. [in Ukrainian]

Kamzist, Zh.S., Shevchenko, O.L. (2008). Hydrogeology of Ukraine. Teaching. manual. Kyiv. [in Ukrainian]

Khrushchov, D.P., Kovalchuk, M.S., Remezova, E.A., Lalomov, A.V., Tsybal, S.M., Bosevskaya, L.P., Lobasov, A.P., Ganzha, E.A., Dudchenko, Yu.V., Kroshko, Yu.V. (2017). Structural-lithological modeling of sedimentary formations. Kiev: Interservice.

Khrushchov, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Y., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevskaya, L.P., Pochtarrenko, V.I., Okholina, T.V. (2019). Formation algorithms for the theory of information support for research and works on geological environment management. *Geoinformatika*, 1 (69), 70–90.

Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L. et al. (2020). The theory of information providing for researches and works on geological environment management. *Proceedings19-th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine. Art. no. 17980, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo012>

Klepov, V.I. (2010). On the hydrogeological foundations of modeling and substantiation of the joint use of surface and ground waters in the Moscow region. *Groundwater resources. Proceedings int. scient. conf. "Modern problems of study and use"*, 13–14 May. 2010, Moscow, 235–242. [in Russian]

Kovalevsky, V.S. (1996). Hydrogeological substantiation of the joint use of surface and ground waters in the Moscow region. *Water Resources*, 4, 472–481. [in Russian]

Lukin, A.E. (2014). Fluid lithogenesis is the most important area of lithological research in the XXI century. *Geol. journal*, 4(349), 27–42. [in Russian]

Lyutyy, G.G., Lyuta, N.G., Sanina, I.V. (2017). Ways to develop monitoring of operational reserves of drinking groundwater. *Collection of scientific works of UkrDGRI*, 1–2, 209–217. [in Ukrainian]

Minkin, E.L., Hranovich, I.L. (1996). Taking into account the interaction of surface and ground waters in the mathematical model for choosing the optimal parameters of water management systems. *Water Resources*, 3, 376–382. [in Russian]

Mironenko, V.A., Rumynin, V.G. (1998–1999). Problems of hydrogeology. Monograph. In 3 vol. Moscow. [in Russian]

Mokin, V.B., Kryzhanovsky, E.M. (2016). State of creation of geoinformation systems of water and water management objects of Ukraine. In: for general. eds. Feshchenko, V.P. Rational use and restoration of water resources. Monograph P-27. Zhytomyr, 29–36. [in Ukrainian]

Michalaka, J., Nawalanegoi, M., Sadurskiego, A. (Eds.). (2011). Schematyzacja warunków hydrogeologicznych z potrzebą numerycznego modelowania przepływu JCWPd. Warszawa: Państwowy Inst. Geologiczny – Państw. Inst. Badawczy.

Shestopalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, A.N., Larin, N.V., Boguslavsky, A.S. (2018). Essays on degassing the Earth. Kiev. [in Russian]

Shestopalov, V.M., Stetsenko, B.D., Rudenko, Yu.F. (2019). Groundwater of the Upper Sarmatian aquifer as a reserve source of drinking water supply of Nikolaev (Ukraine). *Geological Journal*, 2(367), 5–17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169930> [in Ukrainian]

Shestopalov, V.M., Stetsenko, B.D., Rudenko, Yu.F. (2020). Problems of drinking water supply of Mariupol and proposals for their solution at the expense of groundwater. *Geological Journal*, 1, 3–16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974> [in Ukrainian]

Shestopalov, V.M., Sukhorebry, A.A. et al. (1989). Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Water exchange in vivo. Kiev. [in Russian]

Shevchenko, A.L., Osadchyi, V.I., Babushkina, R.A., Charny, D.V. (2019). Actualization of the problem of accounting for groundwater resources in the context of global warming. *Mat-li between nar.nauk.-practice. conf. "The role of Earth sciences in the national economy. Status and prospects"*, 20 March 2019, Kherson, 317–323. [in Russian]

Shevchenko, O., Osadchyi, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings 18th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine. Art. no. 15890.

Shmulovich, K.I., Yardley B.W.D., Gontchar G.G. (1994). Fluids in the crust. London: Chapman & Hall.

Szymanko, J. (1980). Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geol. Warszawa.

Technogenic processes in groundwater (biosphere approach, diagnostics and management). (2003). Eds. Gavich, I.K. Moscow. [in Russian]

The state of groundwater in Ukraine in 2019. (2020). Yearbook. K.: DNVF "GEOINFORM of Ukraine". [in Ukrainian]

Yakovlev, V.V. (2012). Zalizkovy reserves of recreational fresh waters near the collectors of the Ukrainian part of the Dniprovsko-Donetsk artesian basin. *Collection of Science Practices of the Institute of Geochemistry of Navkolishny Middle*, 20, 134–138. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 04.05.21

O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Leading Researcher,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
D. Khrushchov, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Leading Researcher,
Email: khrushchov@hotmail.com,
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,
55-b O. Honchara Str., Kyiv, 01054, Ukraine

THEORETICAL PRINCIPLES OF SAVING GROUNDWATER USE INFOGEOFRAMES IN HYDROGEOLOGY

Theoretical bases of information support of geological prospecting researches and works on use and protection of underground waters are considered. The methodology of information support is based on the principles of target infogeological structuring of the geological environment on the basis of traditional methods of formational analysis taking into account hydrogeological (hydrodynamic and hydrochemical) components. Prospects for the introduction of a system of frame organization of the geological environment in infogeological modeling are discussed. In the applied sense, research focuses on that part of the underground hydrosphere that is now or in the future able to meet the needs of mankind in drinking, mineral, technical, industrial, thermal waters. The principles of management of groundwater resources based on the ratio of renewable natural (dynamic resources, which make up the majority of open hydrodynamic systems in the zone of intensive water exchange), renewable man-made (artificial or disturbed resources) and non-renewable components (capacitive reserves and semi-closed structures). Accordingly, during the operation of deposits, not only the calculated value of the allowable level reduction but also the "allowable balance" of groundwater should be observed. It is also proposed to define and agree on the boundaries of deposits and boundary conditions. The latter should be responsible not only for the water intake production, but also to demonstrate the degree of hydrodynamic, hydrochemical, geological protection and the risk of quantitative and qualitative depletion. Groundwater extraction must be balanced by restoring their reserves, which can be achieved by combined alternate water use of surface and groundwater sources, the creation of infiltration basins and more. On this conceptual basis, a system of information support for research and work on the use and protection of groundwater is proposed, which in the long run should be as close as possible to world standards.

Keywords: underground hydrosphere, geological environment, groundwater, resources, reserves, information support, subsoil use, water intakes, protection, water quality, methodology, models.

A. Шевченко, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Український гідрометеорологічний інститут НАН України і ГСЧС України,
пр. Науки, 37, г. Київ, 03028, Україна;
Д. Хрущев, д-р геол. наук, проф., ст. наук. сотр.,
E-mail: khrushchov@hotmail.com,
Інститут геологічних наук НАН України,
ул. О. Гончара, 55-б, г. Київ, 01054, Україна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. ИНФОГЕОФРЕЙМЫ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

Рассмотрены теоретические основы информационного обеспечения геологоразведочных исследований и работ по использованию и охране подземных вод. Методология информационного обеспечения основывается на принципах целевого инфогеологического структурирования геологической среды на базе традиционных приемов формационного анализа с учетом гидрогеологических (гидродинамических и гидрохимических) составляющих. Обсуждаются перспективы внедрения системы фреймовой организации геологической среды при инфогеологическом моделировании. В прикладном смысле исследования сосредоточены на той части подземной гидросферы, которая в настоящее время или в перспективе способна обеспечивать потребности человечества в питьевых, минеральных, технических, промышленных и теплоэнергетических водах. Выдвинуты принципы обращения с подземными водными ресурсами, исходя из соотношения возобновляемой природной (динамические ресурсы), возобновляемой техногенной (искусственные ресурсы) и невозобновляемой составляющих (емкостные запасы, преобладающие в закрытых и полужакрытых структурах). Во время эксплуатации месторождений следует придерживаться не только расчетных значений допустимого понижения уровня, но и "допустимого баланса" подземных вод. Предлагается также определять и согласовывать между собой границы месторождений и граничные условия. Последние должны отвечать не только за формирование дебитов водозаборов, но и демонстрировать степень гидродинамической, гидрохимической, геологической защищенности и риск количественного и качественного истощения. Добычу подземных вод необходимо уравнивать восстановлением их запасов, чего можно достичь комбинированным поочередным водопользованием поверхностных и подземных источников воды, созданием инфильтрационных бассейнов и т. п. На этой концептуальной основе предложена система информационного обеспечения исследований и работ по использованию и охране подземных вод, которая в перспективе должна быть максимально приближена к мировым стандартам.

Ключевые слова: подземная гидросфера, геологическая среда, подземные воды, ресурсы, запасы, информационное обеспечение, недропользование, водозаборы, охрана, качество воды, методология, модели.

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(94)

Комп'ютерна обробка статей – О. О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Opinions, statements, accuracy of the quotations, economic and statistical data, terminology, proper names and other information are made on the responsibility of the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, відповідної галузевої термінології, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 13,83. Наклад 300. Зам. № 221-10245.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Глз.
Підписано до друку 01.09.2021

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет"
Б-р Тараса Шевченка 14, м. Київ, 01030
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28
E-mail: vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
<http://vpc.knu.ua>
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02