

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.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР	С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	О.В. Шабатура, д-р геол. наук, доц. (заст. головн. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук, ст. дослідник (відп. ред.); Г.В. Артеменко, д-р геол. наук, проф.; В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, доц.; 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.; 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.; В.А. Михайлов, 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, Казахстано-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" 22 вересня 2022 року (протокол № 2)
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	6-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.

Chief publication manager O. Menshov

EDITOR-IN-CHIEF
EDITORIAL BOARD

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

Ukrainian Members:

O. Shabatura, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof. (Deputy Editor-in-Chief); O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Executive Editor); G. Artemenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; 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.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), 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, Vasylykivska 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
September 22, 2022 (Minutes # 2)

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

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Митрохин О., Бахмутов В., Гаврилів Л. Інтрузивно-магматичні утворення архіпелагу Вільгельма Західної Антарктиди (Частина 2 – гіпабісальні та субвулканічні дайкові породи)	5
Лущик М., Мокрий В., Москвяк Я., Теодорович Л. Оцінка туристичної привабливості глобальних геопарків Європи	15
Гнилко О., Богданова М., Божук Т. Комплексна характеристика геологічних/геотуристичних об'єктів Сколівських бескидів як показник тектоно-седиментаційних процесів зовнішніх Карпат	23

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О. Фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених теригенних порід кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину	33
Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині за результатами комплексних геофізичних спостережень	42
Кузьменко Е., Максимчук В., Чепурний І., Багрій С., Романюк О., Кудеравець Р. Домініканський костел у Чорткові: геологічні умови, геометризація крипти, стабілізація будівлі	49
Абдулла-заде М. Геологічна природа сейсмічних відображень в осадовому чохлі східної частини Абшерон-Прибалханського порогу	59

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Деревська К., Руденко К., Шевчук М., Мирижук Є. Оцінка екологічного стану навколишнього середовища Іллінецької імпактної структури	66
Ломакін І., Сарвіров Є., Кочелаб В., Медведський Р. Розсипне золото Півдня України – сучасні уявлення та перспективи	73

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Кошляков О., Кошлякова Т., Диняк О., Кошлякова І. Використання часового та просторового розподілу тритію для індикації змін стану сеноман-келовейського комплексу питних підземних вод на території міста Києва	80
--	----

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Вижва З., Демидов В., Вижва А. Статистичне моделювання випадкового поля на двовимірній області з кореляційною функцією узагальненого типу Гнейтінга в геофізичній задачі моніторингу довкілля	86
Черевко І., Зацерковний В., Трофименко П., Пампуха І., Попков Б., Гудак В. Застосування бази геоданих режимних спостережень за гідрогеологічними умовами території Києво-Печерської лаври та її аналіз	92
Азімов О., Багрій І., Дубосарський В. Прогнозування покладів вуглеводнів з використанням комплексу атмогеохімічних і дистанційних методів	104

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Mytrokhyn O., Bakhmutov V., Gavryliv L. Intrusive-magmatic complexes of Wilhelm archipelago, West Antarctica (Part 2 – hypabyssal and subvolcanic dyke rocks)	5
Lushchik M., Mokryy V., Moscvyak Ya., Teodorovych L. Assessment of the tourist attractiveness of global geoparks in Europe	15
Hnylko O., Bogdanova M., Bozhuk T. Complex characteristics of geological/geotouristic objects of the Skole Beskyds as indicators of tectonic-sedimentary processes in the Outer Carpathians.....	23

GEOFYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabatura O. Reservoir properties of consolidated terrigenous rocks of cambrian period of the eastern slope of the Lviv paleozoic depression.....	33
Ihnatyshyn V., Malytskyy D., Izhak T., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A. Monitoring seismotectonic processes in the Transcarpathian inner trough based on the results of complex geophysical observations.....	42
Kuzmenko E., Maksymchuk V., Chepurnyi I., Bagriy S., Romaniuk O., Kuderavets R. Dominican church in Chortkiv: geological conditions, crypt geometrization, building stabilization	49
Abdulla-zada M. Geological significance of seismic reflections in the sedimentary cover of the eastern part of the Absheron-Prebalkhan ridge	59

MINERAL RESOURCES

Derevska K., Rudenko K., Shevchuk M., Myryzhuk E. Assessment of the ecological condition of the Ilyinets impact structure environment.....	66
Lomakin I., Sarvirov E., Kochelab V., Medvedskij R. Gold placers in the South of Ukraine – current views and prospects.....	73

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Koshliakov O., Koshliakova T., Dyniak O., Koshliakova I. Experience of isotope technologies application to study changes in deep-water potable aquifers state within Kyiv in conditions of long-term operation.....	80
--	----

GEOINFORMATICS

Vyzhva Z., Demidov V., Vyzhva A. Statistical simulation of random field on 2D area with generalized Gneiting type correlation function in the geophysical problem of environment monitoring.....	86
Cherevko I., Zatserkovnyi V., Trofymenko P., Pampukha I., Poprov B., Hudak V. Geodatabase application for regime observations of Kyiv-Pechersk lavra territory hydrogeological conditions and its analysis	92
Azimov O., Bagriy I., Dubosarsky V. Predicting hydrocarbon fields using the complex of atmogeochemical and remote sensing methods.....	104

УДК 55+551.22+552.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.01>

О. Митрохин¹, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net;

В. Бахмутов², д-р геол. наук, проф.,
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com;

Л. Гаврилів^{1,3}, канд. геол. наук, докторант,
E-mail: liubomyr.gavryliv@uniba.sk,

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна;

²Інститут геофізики ім. С.І. Субботина НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 32, Київ, 03680, Україна;

³Університет Коменіуса, Природничий Інститут,
вул. Ільковичова, 3278/6, Братислава, 84104, Словаччина

ІНТРУЗИВНО-МАГМАТИЧНІ УТВОРЕННЯ АРХІПЕЛАГУ ВІЛЬГЕЛЬМА ЗАХІДНОЇ АНТАРКТИКИ (ЧАСТИНА 2 – ГІПАБІСАЛЬНІ ТА СУБВУЛКАНІЧНІ ДАЙКОВІ ПОРОДИ)

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

Друга частина роботи "Інтрузивно-магматичні утворення Архіпелагу Вільгельма Західної Антарктики" присвячена дайковим породам. Автори дослідили дайкові утворення району Української антарктичної станції "Академік Вернадський" з метою уточнення їх петрографічного різноманіття, а також з'ясування особливостей поширення, умов залягання, віку та геологічних співвідношень з іншими проявами магматизму в регіоні. З'ясовано, що на Архіпелазі Вільгельма значно поширені гіпабісальні та субвулканічні дайки мезозой-кайнозойського віку. Найчастіше зустрічаються дайкові породи мафічного та середнього складу: мікрогабро, діабаз, базальти та мікродіорити. Фельзитні дайкові породи мають різко підпорядковане значення. Зазвичай досліджувані породи залягають у вигляді невеликих дайок, які можуть концентруватись у протяжній рої. Менше поширені силікоподібні інтрузиви. Просторове поширення дайок контролюється зоною розломів Лемаєр-Пенола північно-східного простягання. Найбільшу їх концентрацію виявлено на Аргентинських островах. Геологічні співвідношення дайок Аргентинських островів з ізотопно-датованими гранітоїдами, а також послідовність впровадження окремих дайкових тіл, яка встановлюється на ділянках їх взаємного перетину, дозволяють розрізняти як мінімум два етапи дайкоутворення: мезозойський та кайнозойський. Найдавнішими дайковими утвореннями Аргентинських островів є гіпабісальні дайки та силікоподібні інтрузиви мезозойського віку. Вони інтродували після накопичення юрсько-крейдової вулканогенної товщі Аргентинських островів, але до формування палеогенових гранітоїдів Барчанс-Фордж. Петрографічне різноманіття мезозойських дайкових порід представлено мікродіоритами та мікрогабро, а також їх контактово-метаморфізованими еквівалентами. Кайнозойський вік мають усі гіпабісальні та субвулканічні дайки, які інтродують палеогенові гранітоїди островів Барчанс та Фордж. Серед них найбільш поширені дайки діабазів та базальтів. Мікродіорити мають підпорядковане значення. Характерні петрографічні особливості кайнозойських дайок дозволяють виявляти їх вікові аналоги й поза межами гранітоїдного інтрузиву Барчанс-Фордж.

Ключові слова: Антарктида, геологія, дайки, гіпабісальні та субвулканічні породи.

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій. Архіпелаг Вільгельма та Аргентинські острови, які являють складову частину цього архіпелагу, є традиційними об'єктами дослідження українських науковців у Західній Антарктиці. Саме на Аргентинських островах розташовується Українська антарктична станція "Академік Вернадський" (УАС). У геологічному відношенні ця територія належить до периферійно-континентального магматичного поясу Антарктичного півострову (Jourdan et al., 2020). У геологічній будові району УАС головну роль відіграють стратифіковані вулканогенні товщі згодом юрсько-крейдового віку, а також численні крейдово-палеогенові інтрузиви гранітоїдів, діоритів та габроїдів, які формують багатофазний Батоліт Антарктичного півострова (Leat et al., 1995). Стратиграфії району УАС присвячена робота (Митрохин та Бахмутов, 2019). Інтрузивно-магматичні утворення плутонічної фації охарактеризовані у попередній публікації (Митрохин та ін., 2021). Разом з переліченими магматичними утвореннями на Архіпелазі Вільгельма значно поширені дайки мікродіоритів, мікрогабро та діабазів, а також їхніх субвулканічних аналогів. Досі їм приділялося замало уваги. Зокрема, у відомій роботі "The petrology of the Argentine Islands" наведено лише суто петрографічний опис дайкових порід (Elliot, 1964). Відповідно до тодішніх уявлень про геологічну історію Землі

Греяма, дайкові породи Аргентинських островів Д. Елліот поділяв на "доандійські", "постандійські" та "третинні". Але жодних геологічних доказів такого поділу не навів. Автор роботи "The petrology of the Graham Coast" Р. Куртис також зауважив, що дайкові породи, які розвинені на найближчому до Аргентинських островів узбережжі Землі Греяма, так і залишилися не дослідженими (Curtis, 1966). Проте він вважав їх наймолодшим проявом інтрузивного магматизму в регіоні, гіпотетично припускаючи для цих "постандійських" дайок третинний вік. На недостатній рівень геологічної вивченості дайкових порід району УАС звертають увагу сучасні українські дослідники, які вивчають мінералого-петрографічні та геохімічні особливості цих інтрузивних утворень (Артемко та Ганоцький, 2018; Гаврилів, 2019).

Виділення невивчених раніше частин загальної проблеми. Геологічна вивченість дайкових порід району УАС до останнього часу лишалася значно гіршою, порівняно з іншими інтрузивно-магматичними утвореннями регіону. У процесі виконання великомасштабної геологічної зйомки в районі УАС та подальшої обробки польових матеріалів автори отримали нові дані, які суттєво доповнюють чинні уявлення про інтрузивний магматизм досліджуваної території. Опису інтрузивів габроїдів, діоритів та гранітоїдів присвячена перша частина роботи "Інтрузивно-магматичні утворення Архіпелагу

© Митрохин О., Бахмутов В., Гаврилів Л., 2022

Вільгельма Західної Антарктики" (Митрохин та ін., 2021). У другій частині подано геологічний опис гіпабісальних та субвулканічних дайок.

Формулювання цілей статті. Автори дослідили дайкові утворення Архіпелагу Вільгельма та Аргентинських островів з метою уточнення їх петрографічного різноманіття, а також з'ясування особливостей поширення, умов залягання, віку та геологічних співвідношень з іншими проявами магматизму в районі УАС.

Виклад основного матеріалу дослідження. За зовнішнім виглядом, петрографічними особливостями, морфологією геологічних тіл та їх розмірами дайкові породи суттєво відрізняються від інших інтрузивно-магматичних утворень досліджуваної території. Переважна більшість з них має мафічний або середній (intermediate) склад. Натомість фельзичні дайки зустрічаються нечасто. Структурно-текстурні характеристики та деякі інші петрографічні особливості досліджуваних дайкових порід свідчать про гіпабісальні або й субвулканічні умови кристалізації. На це ж вказують доволі малі розміри інтрузивних тіл, ендоконтактів зони загартування та звичайна присутність слабко-оплавлених ксенолітів вмісних порід. Найчастіше ці інтрузивні тіла представлені невеликими дайками. За своїми розмірами навіть найбільші з них, значно поступаються габроїдним інтрузивам, а тим більше плутонам діоритів та гранітоїдів. Проте, з огляду на значну кількість дайкових тіл та їх значну географічну поширеність, вони відіграють суттєву роль у геологічній будові окремих островів та всієї досліджуваної території. У просторовому розподілі дайок спостерігається значна неоднорідність (рис. 1–2). Найбільшу їх кількість зафіксовано на Аргентинських островах. Причому більшість дайок, а також більш рідкісні силоподібні тіла, інтродують юрсько-крейдову вулканогенну товщу Аргентинських островів. Помітно менше дайок інтродує палеогенові гранітоїди островів Барчанс та Фордж. Ще меншу кількість дайок виявлено у плутонічних породах на островах Анаграм, Рока та Крулс, що розташовуються західніше від Аргентинських островів. Дуже багато мафічних дайок інтродує пізньокрейдіві гранітоїди островів Пітерман та Ховгаард. Натомість у діоритах, що складають розташовані західніше острівні групи Ведель та Данебруг, кількість мафічних дайок значно менша. Отже, маємо закономірне збільшення концентрації дайкових тіл у напрямку регіональної розломної зони Лемаер – Пенола, що маркується однойменними протоками північно-східного простягання. На окремих ділянках тут субпаралельні дайки можуть концентруватись у протяжні рої, що включають десятки окремих дайкових тіл. В орієнтації дайок також спостерігається зв'язок зі згаданою розломною зоною. Найбільш протяжні та насичені дайковими тілами рої мають північно-східне простягання. Хоча доволі часто зустрічаються дайки північно-західного простягання. Ізотопні датування наразі отримані лише для двох мафічних дайок з найближчого до Архіпелагу Вільгельма мейнленду Берега Грея. Для долеритової дайки, що інтродує ранньокрейдіві граніти в районі Расмуссен-Хат, отримано пізньокрейдове значення Ar-Ar ізотопного віку по плагіоклазу – $68,6 \pm 1,8$ млн р. (Бахматов *и др.*, 2013). Натомість для мафічної дайки, що інтродує гранодіорити нез'ясованого віку в районі протоки Лемаер, значення Ar-Ar ізотопного віку по породі виявилось палеогеновим – $58,6 \pm 1,2$ млн р. (Ryan, 2007). На Архіпелазі Вільгельма геологічні співвідношення дайок з ізотопно-датованими гранітоїдами, а також послідовність впровадження окремих дайкових тіл, яка встановлюється на ділянках їх взаємного перетину, також дозволяють розрізняти як мінімум два етапи дайкоутворення: мезозойський та кайнозойський.

Дайки мезозойського етапу дайкоутворення. За авторськими даними, найдавнішими дайковими утвореннями Архіпелагу Вільгельма є дайки та сили, які інтродували до формування пізньокрейдівих та палеогенових гранітоїдів. Надалі такі дайкові утворення описуються як "догранітні" та належать до мезозойського етапу дайкоутворення. Петрографічне різноманіття мезозойських дайкових порід представлене мікродіоритами, мікрогабро та їх метаморфізованими еквівалентами.

Мезозойські дайки поширені на площах поширення вулканогенної товщі Аргентинських островів. Саме ці дайки у роботі (Elliot, 1964) визначалися як "доандійські", тобто такі, що інтродували раніше за "андійську інтрузивну світу" крейдово-палеогенового віку. За результатами авторських досліджень, мезозойський вік однозначно доводиться щонайменше для кількох дайок, виявлених у межах вузької смуги вулканітів на східних узбережжях островів Фордж та Барчанс. Одна з таких дайок відслонюється на невеличкому острівці біля східного узбережжя головного острова групи Фордж – точка спостереження №227А (табл. 1). На цій ділянці видно, як дайка метадіабузу інтродує метаморфізовані вулканіти. Останні являють собою своєрідні світло-сірі дрібноплемисті породи. Лише місцями вони виявляють ледь помітну реліктову пірокластичну будову, з відносно великими розпливчастими плямами літокластів, що мають більш темне забарвлення. Більш характерною є дрібнозерниста будова з невеликими скупченнями мафічних мінералів розміром 3–5 мм. Повсюдно описувані метавулканіти мають характерну грубо-шкаралупчасту окремість, завдяки якій розколюються на тонкі вигнуті плитки. Дайка метадіабузу має товщину 1,1 м та простежується від узбережжя в глиб острова на відстані близько 15 м, а далі зникає під снігом. Залягання дайки нахилене з $\text{Apr}=45^\circ$ та падінням на північний захід під кутом 50° . Контакти із вмісними метавулканітами різкі прямолінійні, на окремих ділянках дещо зміщені вздовж тріщин орієнтованих під гострим кутом до лінії контакту. Зон загартування або інших приконтактних змін з боку метадіабузу не виявлено. Дайка ін'єкована численними прожилками гранітоїдного складу (рис. 3а-б). Більшість з них орієнтовані за простяганням дайки, частина – вхрест простягання, створюючи неправильну сітку. Такі самі гранітоїдні прожилки поширюються вздовж ліній розмежування метадіабазової дайки із вмісними метавулканітами. Місцями видно, що фрагменти метадіабузу були "захоплені" гранітоїдною магмою та зміщені від їх первісного положення. Можна припустити, що описувані жили гранітоїдів є апофізами гранітоїдного масиву Барчанс–Фордж. Інтрузивний контакт цього масиву з метавулканітами виявлено на сусідньому острові в 200 м східніше від описуваного відслонення. Вулканіти в зоні контакту зазнають найінтенсивніших метаморфічних змін та перетворені на роговики. Метаморфізм описуваної дайки та вмісних вулканітів також пояснюється контактово-термальною дією гранітоїдної інтрузії Барчанс–Фордж. Отже, верхню вікову межу формування дайки метадіабузу можна обмежити віком зазначених гранітоїдів.

Численні визначення ізотопного віку гранітоїдів Барчанс–Фордж, виконані K-Ar методом, а також одиничні Rb-Sr і Ar-Ar датування дають ранньопалеогенові значення – 55-60 млн р. (Rex, Pankhurst, 1982; Бахматов *и др.*, 2013). Тобто дайка є допалеогеновою. Нижня вікова межа її формування обмежується віком вмісних метавулканітів, який визначається часовим інтервалом між юрським та крейдовим періодами включно. Відповідно, найвірогіднішим віком формування метадіабазової дайки островів Фордж є крейдовий період.

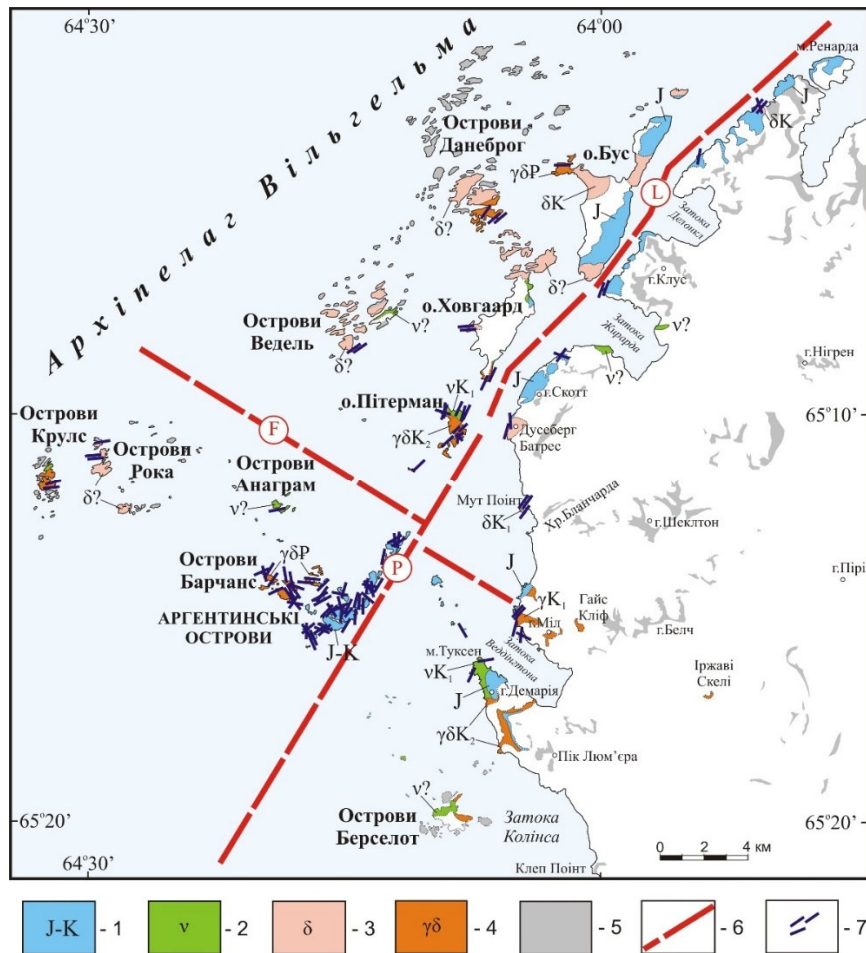


Рис. 1. Геологічна карта архіпелагу Вільгельма та найближчого узбережжя півострова Київ

Умовні позначення: 1 – вулканогенні товщі півострова Київ та Аргентинських островів; 2 – габроїдні інтрузиви ранньокрейдового (vK_1) та нез'ясованого ($v?$) віку; 3 – діоритові інтрузиви ранньокрейдового (δK_1) та нез'ясованого ($\delta?$) віку; 4 – гранітоїдні інтрузиви ранньокрейдового (γK_1), пізньокрейдового ($\gamma\delta K_2$) та палеогенового ($\gamma\delta P$) віку; 5 – неідентифіковані виходи гірських порід; 6 – регіональні розломи у протоках Лемаер (L), Пенола (P) та Френч (F); 7 – дайки мікродіоритів, мікрогабро, діабазів та базальтів позначені поза масштабом карти. Карту склав О. Митрохин, крім авторських даних використані матеріали (Curtis, 1966)

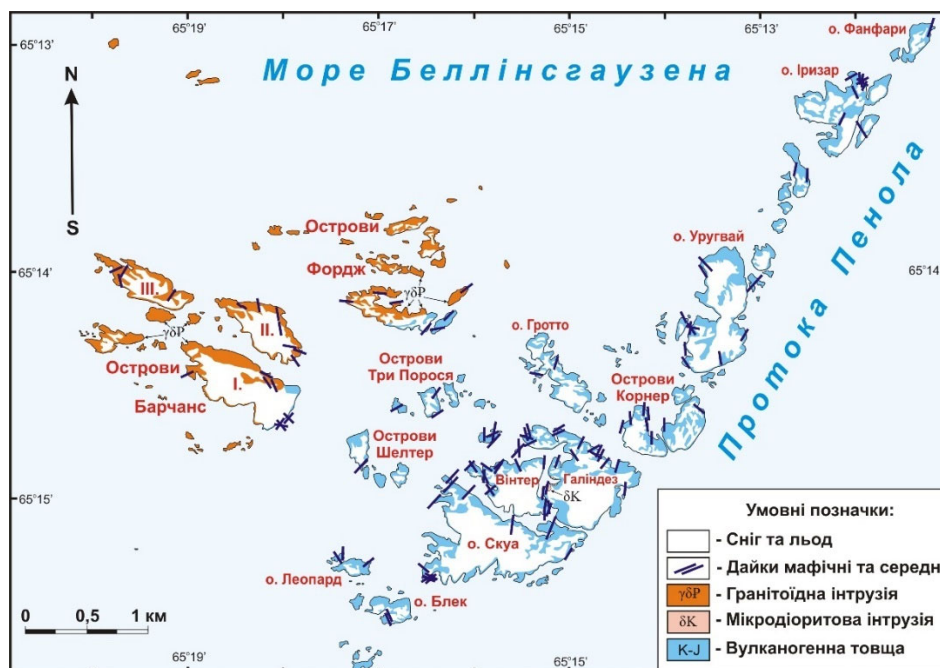


Рис. 2. Особливості поширення дайкових утворень Аргентинських островів.

Позначки дайок поза масштабом карти. Геологічну карту склав О. Митрохин, крім авторських даних використані матеріали (Elliot, 1964)



Рис. 3. Умови залягання мезозойських дайкових утворень Аргентинських островів:
а-б – метавулканіти перетинаються дайкою метадіабазу, яка ін'єсована гранітоїдними жилами, острови Фордж, точка спостереження 227А; с-д – силлоподібне тіло мікродіориту інтродує лапіліві туфи, о. Галіндез, точки спостереження 83А та 84А

Таблиця 1

Опорні геологічні відслонення дайкових утворень Аргентинських островів

Точки спостережень	Координати	Географічне положення	Геологічна характеристика
9А	65°14,500'S 64°18,098'W	о. Барчанс-I	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
10А	65°14,490'S 64°18,170'W	о. Барчанс-I	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
11А	65°14,471'S 64°18,182'W	о. Барчанс-I	Дайка діабазу інтродує палеогенові гранодіорити
38А	65°14,161'S 64°18,442'S	о. Барчанс-II	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
40А	65°14,191'S 64°18,076'W	о. Барчанс-II	Дайка порфіроподібного мікродіориту інтродує палеогенові гранодіорити
51А	65°14,147'S 64°16,809'W	о. Фордж	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
83А	65°14,908'S 64°15,208'W	о. Галіндез	Силоподібне тіло мікродіориту інтродує лапіліві туфи
84А	65°14,967'S 64°15,235'W	о. Галіндез	Силоподібне тіло мікродіориту інтродує лапіліві туфи та перетинається дайкою базальту
93А	65°14,853'S 64°14,616'W	о. Галіндез	Силоподібне тіло мікродіориту інтродує лапіліві туфи та перетинається двома різновіковими дайками
114А	65°14,093'S 64°16,972'W	о. Фордж	Дайка діабазу інтродує палеогенові гранодіорити
122А	65°13,989'S 64°19,767'W	о. Барчанс-III	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
123А	65°14,054'S 64°19,700'W	о. Барчанс-III	Дайка базальту інтродує палеогенові гранодіорити
124А	65°14,023'S 64°19,576'W	о. Барчанс-III	Дайка порфіроподібного мікродіориту інтродує палеогенові гранодіорити
132А	65°14,679'S 64°18,021'W	о. Барчанс-I	Три різновікові дайки послідовно перетинають метаморфізовані вулканіти
227А	65°14,199'S 64°16,276'W	острови Фордж	Дайка метадіабазу інтродує метаморфізовані вулканіти
265А	65°14,111'S 64°19,154'W	о. Барчанс-III	Дайка дациту інтродує палеогенові гранодіорити

Декілька "догранітних" дайок виявлено серед метаморфізованих вулканітів на східному узбережжі острова Барчанс-І. Метавулканіти тут помітно відрізняються від вищеописаних. Їх структурно-текстурні особливості свідчать про те, що вони різною мірою зазнавали динамометаморфізму та наступних контактово-метаморфічних перетворень під дією палеогенової інтрузії гранітоїдів Барчанс-Фордж. Інтрузивний контакт гранітоїдів з метавулканітами виявлено на північному узбережжі цього ж острова, біля 300 м північніше від описуваного відслонення. Динамометаморфізм метавулканітів проявився в їх розсланцюванні. Площини сланцюватості мають північно-східне простягання зі стрімким падінням на північний захід. Ступінь динамометаморфізму помітно варіює поперек простягання, навіть у неподає розташованих відслоненнях. В одних місцях метавулканіти зберігають реліктову пірокластичну структуру лапілевих туфів. В інших – грубий пірокластичний матеріал помітно деформований. Пірокласти набувають сплюсненої лінзоподібної форми та субпаралельного спрямування, яке підкреслюється орієнтованою текстурою цементуючого матриксу. Врешті-решт на ділянках найбільших деформацій вулканіти перетворені на мікросланці. На точці спостереження № 132А метавулканіти інтродуються трьома різновіковими дайками.

Дайка-1 є найдавнішою, оскільки перетинається двома іншими дайками. Її товщина сягає всього 0,15 м, орієнтація збігається з площиною розсланцювання у вмісних метавулканітах – $\text{Apr}=35^\circ$, падіння на північний захід під кутом 60° . Мафічна порода, яка складає дайку, метаморфізована в умовах амфібол-роговикової фації. Це темно-сірий щільний афанітовий роговик. Подекуди в афанітовій масі неозброєним оком розрізняються дрібні лусочки новоутвореного біотиту. Під мікроскопом роговик виявляє бластопорфірову структуру. Реліктові порфірові вкраплення плагіоклазу розміром 1–2 мм насичені численними мікроскопічними включеннями мафічних мінералів, які надають їм ситоподібної будови. Крім них, присутні дрібнокристалічні гломеробластові скупчення рогової обманки. Для загальної маси роговика характерна мікроскристалічна гранобластова структура та мезократовий склад. Вона складається ізометричними зернами плагіоклазу та рогової обманки. Дрібні лусочки біотиту присутні у другорядній кількості. Акцесорна мінералізація представлена Fe-Ti оксидами та поодинокими голками апатиту. Метаморфізм описуваної дайки пояснюється контактово-термальною дією палеогенової інтрузії Барчанс-Фордж. Відповідно, вік дайки є допалеогеновим, але не давнішим за юрський, найбільш вірогідно – крейдовий.

Дайка-2 перетинає зі зміщенням дайку-1, тобто є відносно молодшою за неї. Вона має товщину 2,1 м, залягає вертикально з $\text{Apr}=10^\circ$. По тріщинах окремість, що перетинають дайку впоперек, розвиваються тонкі прожилки гідротермального кварцу. Дайкова порода представлена метаморфізованим мікродіоритом. Порівняно з вищеописаним роговиком мікродіорит є трохи світлішим, що пояснюється його більш лейкократовим складом. У зразку це зеленувато-сіра щільна афанітова порода. Під мікроскопом вона виявляє дрібнокристалічну структуру, яку можна визначити як проміжну між реліктовою призматично-зернистою та метаморфічною кристалобластовою. Плагіоклаз кількісно переважає над іншими мінералами. У багатьох місцях він зберігає первинну подовжено-призматичну форму кристалів, які

лише частково рекристалізовані на краях. Ізометричні зерна рогової обманки та кількісно підпорядковані лусочки біотиту кристалізуються між індивідами плагіоклазу. Серед акцесоріїв ідентифікуються численні голочки апатиту та Fe-Ti оксиди. За аналогією з дайкою-1 геологічний вік дайки метаморфізованого мікродіориту може бути крейдовим, але дещо молодшим за вік роговика, який складає дайку-1. Зауважимо, що контактово-термальний метаморфізм амфібол-роговикової фації проявляється в обох дайках. Різна інтенсивність метаморфічних перетворень імовірно пов'язана зі складом дайкових порід, а не з їх відносним віком. Не дивно, що мафічна порода (базальт або діабаз) зазнала більш інтенсивних перетворень у своїй будові та мінеральному складі порівняно з дайковою породою середнього складу.

Дайка-3 є наймолодшою, оскільки перетинає без зміщення обидві вищеописані дайки цього відслонення. Крім того, ця дайкова порода представлена базальтом, у якому відсутні будь-які ознаки контактового метаморфізму, спричиненого палеогеновою інтрузією гранітоїдів Барчанс-Фордж. Відповідно її геологічний вік є постпалеогеновим. Товщина дайки сягає 0,26 м, вона має вертикальне залягання з $\text{Apr}=320^\circ$. Лінії контакту різкі, дещо звивисті, з щільними афанітовими зонами загартування в ендоконтактовій частині. Базальт, який складає дайку, має темно-сіре забарвлення та порфірову структуру. У внутрішній частині дайки на тлі афанітової загальної маси розрізняються більш світлі фенокристи плагіоклазу розміром 2–3 мм. Натомість у приконтактних зонах, завширшки 4–5 см, їх кількість зменшується аж до повного зникнення. Під мікроскопом базальт виявляє характерні особливості субвулканічної породи. Петрографічно він цілком подібний до кайнозойських базальтових дайок, що інтродують палеогенові гранітоїди Барчанс-Фордж на цьому ж острові. Їхні петрографічні особливості описано в підрозділі "Дайки кайнозойського етапу дайкоутворення".

Імовірно, мезозойський вік має силоподібне інтрузивне тіло мікродіориту, яке відслонюється в кількох місцях на о. Галіндез. За геологічними даними, цей інтрузив було сформовано після накопичення вулканогенної товщі Аргентинських островів, яка складає більшу частину о. Галіндез. Найкращі відслонення інтрузиву мікродіоритів розташовані на західному та північному узбережжях острова. Зокрема, на точці спостереження № 83А гарно відслонюється його верхній контакт з більш давніми породами покривлі (див. рис. 3с). Останні на цій ділянці представлені метаморфізованими лапілевими туфами. Вони мають добре виявлену пірокластичну будову, але відрізняються від класичних туфів своєю високою щільністю та міцністю. Така відмінність пояснюється метаморфічними перетвореннями, які супроводжувалися частковою перекристалізацією пірокластичного матеріалу та повним заповненням пор мінеральними новоутвореннями. Проте численні літокласти лапілевої розмірності все ще зберігають характерну морфологію та будову вулканітів дацитового складу. Місцями видно, що сплюснені літокласти мають субвертикальну орієнтацію з простяганням площини нашарування, наближеним до меридіонального – $\text{Apr}=5^\circ$. Під лапілевими туфами відслонюються верхня приконтактова частина пластоподібного інтрузиву мікродіоритів. Внутрішня та нижня частини інтрузива, а також її підшова на цьому відслоненні скриті під водами протоки Стелла Крік. Вертикальна товщина спостережуваної частини інтрузива сягає 2,5 м.

Площина верхнього контакту з вулканітами орієнтується субгоризонтально. Контакт інтрузивний, лінія контакту доволі різка з характерними ендоконтактовими змінами. Зокрема, у міру наближення до контакту на відстані близько 1 м мікродіорит поступово світлішає, набуває розпливчастої смугастої будови та стає більш дрібнозернистим порфіроподібним. Безпосередньо у приконтактовій смузі спостерігається афанітова зона загартування з товщиною близько 1 см. Зазначимо, що, на відміну від класичних силів, які мають залягати згідно з шаруватістю вмісних порід, зазначений мікродіоритовий інтрузив має незгідний січний контакт з шаруватістю навколишніх пірокластичних порід. Можна припустити, що своє теперішнє субгоризонтальне залягання він набув у результаті орогенічних деформацій, які спричинили нинішнє вертикальне залягання шаруватості вулканітів на о. Галіндез, а також на сусідніх островах Скуа та Корнер. Продовження описуваного мікродіоритового інтрузиву можна побачити у серії відслонень, розташованих на 100 м південніше по інший бік невеликої затоки на західному узбережжі о. Галіндез. Наприклад, у межах точки спостереження № 84А на похилому пагорбі площею 30*30 м та заввишки майже 5 м над рівнем моря відслонюються мікродіорити, які складають внутрішню та нижню приконтактову частину інтрузиву (див. рис. 3d). Це зеленувато-сірі породи з явнокристалічною нерівномірно-зернистою структурою. На дрібнозернистому загальному тлі нечітко виокремлюються поодинокі вкраплення плагіоклазу розміром 1–3 мм. Під мікроскопом з'ясовується, що плагіоклаз кількісно переважає над іншими мінералами. Між його фенокристами та розмірами зерен у загальній масі наявні цілком поступові переходи. Ідіоморфна форма індивідів плагіоклазу надає мікродіориту призматично-зернистої структури. Плагіоклаз частково зазнає пелітизації та серицитизації. Первинні мафічні мінерали повністю заміщені актинолітом, епідотом та хлоритом. Їх агрегатні скупчення, у складі яких домінує актиноліт, зберігають характерну клиноподібну морфологію первинних піроксенів та амфіболів. Ідіоморфні мікрористали магнетиту утворюють пойкилітові включення в актиноліті та епідоті. В інтерстиціях плагіоклазів подекуди затиснуті ксеноморфні зерна кварцу. В акцесорних кількостях присутні апатит та сфен.

Біля північно-західного та південного підніжжя пагорба, складеного мікродіоритами, відслонюються лапіві туфи, які формують підшву описуваного інтрузива. Нижній контакт закритий снігом та продуктами морозного вивітрювання, але в міру наближення до його вірогідного місцезнаходження мікродіорит явно стає більш дрібнозернистим, набуваючи порфіроподібної будови. У підстельних лапівелих туфах виявлено орієнтацію літокластів, відповідно до якої площина нашарування має $\text{Apr}=5^\circ$ з падінням на схід під кутом $65\text{--}70^\circ$. Зазначимо, що мікродіоритовий інтрузив на точці спостереження 84А сам інтродується більш пізньою базальтовою дайкою. Остання має товщину 0,45 м, залягає вертикально з $\text{Apr}=10^\circ$. Петрографічні особливості цієї базальтової дайки свідчать про її подібність до кайнозойських базальтових дайок, інтродованих у палеогенові гранітоїди Барчанс–Фордж. А на північному узбережжі о. Галіндез у межах точки спостереження № 93А описувана мікродіоритова інтрузія перетинається одразу двома різновіковими дайками. Причому одна з них, яка має базальтовий склад та петрографічні особливості кайнозойських базальтових дайок, перетинає як силородібну мікродіоритову інтрузію, так і іншу дайку мікродіориту.

Не виключено, що в цілому ряді відслонень вулканогенної товщі Аргентинських островів, зокрема на островах Вінтер, Скуа, Леопард та Блек, де виявлено випадки перетину одних дайок іншими, найдавніші з них також можуть мати мезозойський вік.

Дайки кайнозойського етапу дайкоутворення.

Кайнозойський вік однозначно встановлюється для "постгранітних" дайок Аргентинських островів. Їх найтисповішими представниками є дайки, які інтродують палеогенові гранодіорити на островах Барчанс та Фордж. Петрографічне різноманіття кайнозойських дайкових порід включає базальти, діабазы, мікродіорити, андезити та дацити.

Найбільше поширення серед кайнозойських дайок Аргентинських островів мають дайки основного складу. За петрографічними особливостями серед них розрізняються субвулканічні дайки базальтів та гіпабісальні дайки діабазів. Субвулканічні дайки базальтів наразі описані на островах Барчанс. Зокрема, на східній ділянці північного узбережжя острова Барчанс-I виявлено дві такі дайки. Одна з них інтродує гранодіорити в межах точки спостереження № 9А (рис. 4а, табл. 1). Її товщина сягає 20 см, за простяганням вона простежується на відстані близько 15 м. На одній ділянці дайка обривається і знову з'являється на відстані 1 м, так, що складається враження "зміщення". Втім чітких тріщин, які б могли викликати таке зміщення не виявлено. Дайка залягає нахилена з $\text{Apr}=335^\circ$ та падінням на північний схід під кутом 65° . Контакти дайки із вмісним гранодіоритом різкі та прямолінійні. Добре розрізняються ендоконтактові зони "загартування", складені чорним афанітовим базальтом. Біля висячого контакту спостерігаються дрібні ксеноліти вмісних гранодіоритів. Центральна частина дайки насичена фенокристами плагіоклазу розміром 5–10 мм, які надають базальту дрібнопорфірової будови. Інша базальтова дайка перетинає гранодіорити на точці спостереження № 10А. Її товщина сягає 25–45 см, поступово зменшуючись у напрямку морського узбережжя, де вона роздвоюється та занурюється під воду. В глиб острова цю дайку простежено на відстані 30 м, а далі закрита снігом та льодом. Залягання дайки нахилена з $\text{Apr}=325^\circ$ та падінням на північний схід під кутом 55° . Ще одну невелику базальтову дайку знайдено на північному узбережжі о. Бархан-II у межах точки спостереження №3 8А (рис. 4b). Як і вищеописані базальтові дайки, вона інтродує гранодіорити. Її конфігурація є доволі ламаною. Простягання окремих сегментів дайкового тіла змінюється від північно-західного з $\text{Apr}=310^\circ$, $\text{Apd}=220^\circ$ та кутом падіння – 45° до субширотного з $\text{Apr}=95^\circ$, $\text{Aпад}=5^\circ$ та кутом падіння 55° . Його товщина в роздувах досягає 15 см та сходиться нанівець у місцях стискання. Місцями воно повністю зникає внаслідок зміщення або виклинювання, потім з'являється знову. Водночас сумарна протяжність усіх сегментів сягає 35 м. Контакти із вмісним гранодіоритом різкі, з широкими ендоконтактовими зонами "загартування" завтовшки до 1–1,5 см. В усіх трьох описуваних відслоненнях базальт являє темно-сіру дрібнопорфірову породу з афанітовою загальною масою. На змінених поверхнях забарвлення світлішає, набуваючи зеленуватого відтінку. Фенокристи плагіоклазу можуть становити від 5 до 15–20 % від загального об'єму. Їх розміри змінюються від 1–3 до 5–7 мм, причому в окремих зразках вони можуть утворювати дві розмірні групи. Незалежно від розмірів фенокристів може варіювати ступінь їхнього змінення. Свіжі фенокристи мають

більш темне сіре забарвлення, є напівпрозорими зі скляним блиском. У разі змінення фенокристи світлішають та стають тьмяними. Змінення базальтів може також проявлятися у появі дрібної вкрапленості сульфідів. У шліфах базальти мають мікропорфірову будову. Крім вже згаданих фенокристів плагіоклазу, завжди присутня та чи інша кількість мікрофенокристів клінопіроксену розміром 0,2–3 мм. Загальна маса виявляє реліктову неповнокристалічну мікрореліктову будову, яка свідчить про неглибокий субвулканічний рівень кристалізації магми. Залежно від кількісних співвідношень між мікролітами та продуктами девітрифікації, характер реліктові

мікроструктури змінюється від інтерсертальної до гіалопелітової. У деяких шліфах спостерігається флюїдальна орієнтація мікролітів та фенокристів. Мікроліти представлені плагіоклазом, клінопіроксеном, титаномagnetитом та ільменітом. У проміжках між мікролітами міститься та чи інша кількість продуктів девітрифікації вулканічного скла, які складаються мікрокристалічним агрегатом гідролітичної та хлорити. Первинне вулканічне скло в жодному з досліджуваних зразків не виявлене. Акцесорна мінералізація базальтів представлена апатитом, піритом, халькопіритом та Cr-Fe шпінелідами.



Рис. 3. Умови залягання кайнозойських дайкових утворень Аргентинських островів:

- а – субвулканічна базальтова дайка інтродує гранітоїди на о. Барчанс-I, точка спостереження 9А;
- б – коліноподібна морфологія субвулканічної базальтової дайки, що інтродує гранітоїди на о. Барчанс-II, точка спостереження 38А;
- с – діабазова дайка інтродує гранітоїди на о. Фордж, точка спостереження 51А;
- д – дайка порфіроподібного мікродіориту інтродує гранітоїди на о. Барчанс-II, точка спостереження 40А

Кайнозойські дайки діабазів зустрічаються частіше, ніж базальтові. Їх співвідношення з базальтовими дайками остаточно не з'ясовані. Не виключено, що частина діабазів є сильно зміненими базальтами, в яких суттєвий розвиток вторинних мінералів або краща їх розкристалізація повністю маскують неповнокристалічну структуру. Інші ж діабазові дайки первісно мали повнокристалічну офітову структуру, яка властива для гіпабісальних порід. Наразі діабазові дайки виявлено на всіх трьох великих островах Барчанс, а також на найбільшому з островів Фордж. На острові Барчанс-I діабазову дайку досліджено на північному узбережжі в межах точки

спостереження № 11А. Її товщина сягає 1,2 м, орієнтуючись впоперек вузького мису, дайка простежується в обидва боки всього на декілька метрів до берегової лінії, де занурюється під воду. Залягання дайки нахилене з $\text{Apr}=295^\circ$ та падінням на північний схід під кутом 50° . Дайка залягає у гранодіоритах, інтродуючи також й тонкі кварцові жили, які розвиваються по зонах тріщинуватості у вмісних породах. В ендоконтактних частинах в ній добре виявлені афанітові зони загартування, оскільки екзоконтактні зміни у гранодіоритах візуально не розрізняються. Діабаз, який складає описувану дайку, являє собою зеленувато-сіру породу з порфіроподібною

структурою. Порфірові вкрапленики світло-сірого мутнуватого плагіоклазу, розміром 2–4 мм, становлять близько 5 % від загального об'єму. Крім них, присутні невеликі, 1–2 мм, вкраплення сульфідів заліза. Загальна маса дрібнозерниста, візуально краще розкristалізована порівняно з описуваними вище базальтами. Під мікроскопом у шліфах з'ясовується, що вкраплення плагіоклазу мають частково оплавлену форму та підлягають пренітизації. Крім них, також присутні численні ксенокристи кварцу, які облямовуються актинолітовими оболонками. Загальна маса має повнокристалічну діабазову структуру та складається з плагіоклазу та актиноліту. У другорядних та акцесорних кількостях присутні Fe-Ti оксидно-рудні мінерали, апатит та сфен.

Ще дві діабазові дайки інтродують гранодіорити в північно-західній частині о. Барчанс-III. Перша з них, яка виявлена на точці спостереження № 122A, має товщину 40 см та північно-східне простягання – $\text{Apr}=65^\circ$ з падінням на північний захід під кутом 55° . Контакти різкі з лінійною конфігурацією. Окрім ендоконтактових зон загартування, у вмісному гранодіориті спостерігаються вузькі екзоконтактові смуги по світління. Друга діабазова дайка, яка залягає дещо східніше на точці спостереження № 123A, має товщину 55 см та північно-західне простягання. У кількох місцях встановлюється ламаність її конфігурації з генеральною орієнтацією по $\text{Apr}=345^\circ$ та падінням на північний схід під кутом 55° . На зламах простягання змінюється на північно-східне з $\text{Apr}=50^\circ$ та падіння на південний схід під кутом 75° . Паралельно головному тілу на відстані до 2 м можуть з'являтися сателітні дайкові тіла. І головне дайкове тіло, і сателіти мають різкі границі з афанітовими зонами "загартування" завтовшки до 1 см.

Численні діабазові дайки інтродують гранодіорити в північній частині острова Фордж, формуючі рій субширотного простягання. Найбільша з них, з товщиною 1 м, простежується вздовж усього північного узбережжя острова на відстані більше 100 м. Залягає вона вертикально з $\text{Apr}=95^\circ$. У межах точки спостереження № 114A видно, як вона навскіс розтинає тонку аплітову жилу, що сама січе вмісний гранодіорит. Дві менші діабазові дайки відслонюються на південному узбережжі затоки, що врізається в острів зі сходу. Перша дайка, завтовшки 45 см, відслонюється в районі точки спостереження № 51A, простежуючись у східному напрямку на відстані близько 15 м, а далі заходить під воду. У західному ж напрямку вона різко обривається, не доходячи до узбережжя затоки. Її залягання нахилене з $\text{Apr}=80^\circ$ та падінням на північний захід під кутом 70° , контакти із вмісними гранодіоритами різкі з чіткими ендоконтактовими зонами "загартування", що складаються афанітовим базальтом. Вздовж екзоконтакту у вмісному гранодіориті розвиваються вузькі зони епідотизації (рис. 4с). Щоправда, така ж епідотизація розвивається і незалежно від екзоконтактових ореолів дайки, тяжучи до зон тріщинуватості у гранодіоритах. В одному місці тіло дайки незначно зміщене, в іншому – розірвано, причому розірвані краї обмежені вузькими клиновидними апофізами, що інтродують в гранодіорит. В області всього ендоконтакту зрідка зустрічаються ксеноліти гранодіориту, розміром менше 1 см. Друга дайка діабазу розташована в 3 м від першої та орієнтована паралельно їй. За простяганням вона простежується вздовж берега затоки на відстані 50 м. У східному напрямку її товщина поступово зменшується і вона повністю виклинюється.

Кайнозойські дайки середнього складу за своїм поширенням значно поступаються основним. Декілька дайок порфіроподібних мікродіоритів виявлено на островах Барчанс. Найкраще з них досліджено дайку, яка перетинає гранодіорити на північному узбережжі о. Барчанс-II. Від точки спостереження № 40A вона безперервно простежується до берегової лінії, а також у південно-східному напрямку на відстані 155 м, а далі заходить під снігово-льодовиковий покрив (рис. 4d). Її видима товщина сягає 1,9–2,3 м, $\text{Apr}=145\text{--}165^\circ$, падіння змінюється від вертикального до нахилоного під кутом $65\text{--}85^\circ$ у північно-східному напрямку. Контакти різкі лінійні, місцями видно, що дайка незгідно перетинає тонкі кварцові жили та зони навколотріщинних змін, які розвиваються у вмісних гранодіоритах. В ендоконтактових частинах розвинені вузькі зони "загартування", що складаються темно-сірою афанітовою породою. На окремих ділянках у приконтактовій смузі присутні невеликі гострокутні ксеноліти вмісних гранодіоритів. На свіжих зламах мікродіорит, який складає дайку, має дрібно-плямисте забарвлення: на сірому тлі рівномірно розкидані вкраплення світло-сірого плагіоклазу. Внаслідок вторинних змін забарвлення світлішає, набуваючи зеленуватого відтінку. Дрібно-порфірова будова зумовлена присутністю згаданих вкраплень плагіоклазу, розміром 2–7 мм, які становлять до 20–25 % загального об'єму. Невелика кількість вкраплень мафічних мінералів погано розрізняється на тлі темної загальної маси. Мікродіорит також містить спорадичні породні вclusions. Крім ксенолітів гранодіоритів, також попадаються вclusions розміром 1–10 см, представлені дрібно-середньокристальною породою на кшталт діориту або лейкогабро. На відміну від гранодіоритових ксенолітів, такі вclusions мають оплавлену еліпсоїдальну форму. Вони розподіляються незалежно від контактів із вмісними породами, але деякі з них орієнтуються за простяганням дайки. Під поляризаційним мікроскопом мікродіорит виявляє поліфорову структуру з повнокристалічною загальною масою. Порфірових вкрапленників плагіоклазу так багато, а розміри їх настільки мінливі, що структуру можна визначити як серійно-порфірову. Хоча найменші фенокристи плагіоклазу за розміром достатньо чітко відрізняються від мікролітів загальної маси. Менші за розміром фенокристи також утворюють клінопіроксен та титаномagnetит. Крім них, спостерігаються агрегатні скупчення епідоту та хлориту, які заміщують ще один мафічний мінерал, можливо – амфібол. Загальна маса має доволі лейкократовий склад, що відрізняє мікродіорити від вищеописаних базальтів та діабазів. Плагіоклаз середнього складу становить понад 65%. Крім нього, також ідентифікуються кварц, амфібол, клінопіроксен, титаномagnetит, ільменіт, сфен, апатит.

Петрографічно подібними до описуваної є дві дайки порфіроподібних мікродіоритів, які інтродують гранодіорити на острові Барчанс-III. Зокрема, в західній частині цього острова одна з таких дайок простежується з перервами від берегової лінії на північно-західному узбережжі у південно-західному напрямку на відстані понад 100 м, а далі зникає під снігом. На точці спостереження № 124A вона має товщину 1,7 м, $\text{Apr}=30^\circ$ та падіння на південний схід під кутом 70° . Місцями встановлюється ламаність її конфігурації, де невеликі сегменти можуть мати такі елементи залягання: $\text{Apr}=350^\circ$ падіння на північний схід під кутом 55° . Майже 10 м західніше від описуваного відслонення у гранодіоритах залягає ще одна

мікродіоритова дайка, завтовшки 0,75 м з $\text{Apr}=20^\circ$ та падінням на південний схід під кутом 65° . За простяганням на північний схід вона зникає під снігом, а у південно-західному напрямку виклинується.

Висновки. Автори дослідили дайкові утворення Архіпелагу Вільгельма та Аргентинських островів з метою уточнення їх петрографічного різноманіття, а також з'ясування особливостей поширення, умов залягання, віку та геологічних співвідношень з іншими проявами магматизму в районі УАС. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. На Архіпелазі Вільгельма значно поширені гіпабісальні та субвулканічні дайкові утворення мезозой-кайнозойського віку. Найчастіше зустрічаються дайкові породи мафічного та середнього складу: діабаз (мікрогабро), базальти та мікродіорити. Фельзитичні дайкові породи мають різко підпорядковане значення.

2. Зазвичай дайкові утворення залягають у вигляді невеликих дайок, які можуть концентруватись у протяжні рої. Менше поширені силоподібні інтрузиви. Просторове поширення дайкових утворень контролюється зоною розломів Лемаєр – Пенола північно-східного простягання. Найбільшу концентрацію дайок виявлено на Аргентинських островах.

3. Геологічні співвідношення дайок Аргентинських островів з ізотопно-датованими гранітоїдами, а також послідовність впровадження окремих дайкових тіл, яка встановлюється на ділянках їх взаємного перетину, дозволяють розрізняти як мінімум два етапи дайкоутворення: *мезозойський* та *кайнозойський*.

4. Найдавнішими дайковими утвореннями Аргентинських островів є гіпабісальні дайки та силоподібні інтрузиви мезозойського віку. Вони інтродували після накопичення юрсько-крейдової вулканогенної товщі Аргентинських островів, але до формування палеогенових гранітоїдів Барчанс–Фордж. Петрографічне різноманіття мезозойських дайкових порід представлене мікродіоритами та мікрогабро, а також їх контактово-метаморфізованими еквівалентами.

5. Кайнозойський вік мають усі гіпабісальні та субвулканічні дайки, які інтродують палеогенові гранітоїди островів Барчанс та Фордж. Серед них найбільше поширені дайки діабазів та базальтів. Мікродіорити мають підпорядковане значення. Характерні петрографічні особливості кайнозойських дайок дозволяють виявляти їх вікові аналоги поза межами гранітоїдного інтрузиву Барчанс–Фордж.

Подяка. Роботу виконано за сприяння Національного антарктичного наукового центру України в рамках Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 рр. Автори висловлюють свою щирі подяку зимівникам 21, 23 та 24-УАЕ за всебічну підтримку польових робіт. Значний внесок у організацію та проведення геологічних маршрутів внесли М. Старинець, В. Храпач, В. Ситов, Ю. Отруба та І. Дикий.

Список використаних джерел

Артеменко, Г.В., Ганюцкий, В.И. (2018). Геохимические особенности дайковых пород островов архипелага Арджентайн и прилегающей части

Антарктического полуострова (Западная Антарктида). *Проблемы Арктики и Антарктики*, 64, 3, 270-293.

Гаврилів, Л.І. (2019). Кайнозойські дайки Аргентинських островів (Західна Антарктида): склад, умови утворення та геологічні співвідношення. *Автореф. дис. ... канд. геол. наук*: 04.00.01. К.

Митрохин, О.В., Бахмутов, В.Г. (2019). Стратиграфія району Української антарктичної станції "Академік Вернадський". *Український антарктичний журнал*, 1, 18, 45-61. doi.org/10.33275/1727-7485.1(18).2019.129

Митрохин, О., Бахмутов, В., Алексеев, А., Митрохіна, Т., Марущенко, О. (2021). Інтрузивно-магматичні утворення Архіпелагу Вільгельма (частина 1 – Інтрузиви габроїдів, діоритів та гранітоїдів). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(95), 6-15. http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.01

Bakhmutov, V.G., Gladkochub, D.P., Shpira, V.V. (2013). Age position, geodynamic specifics and paleomagnetism of intrusive complexes of the western coast of the Antarctic Peninsula. *Geophysical Journal*, 35, 3, 3-30. doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i3.2013.116387

Curtis, R. (1966). The petrology of the Graham Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 50, 51.

Elliot D.H. (1964). The petrology of the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 41, 31.

Jordan, T.A., Riley, T.R., Siddoway, C.S. (2020). The geological history and evolution of West Antarctica. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 117–133. doi.org/10.1038/s43017-019-0013-6

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

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

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

Ryan, C.J. (2007). Mesozoic to Cenozoic igneous rocks from Northwestern Graham Land: constraints on the tectono-magmatic evolution of the Antarctic Peninsula. University of Brighton.

References

Artemenko, G.V., Ganotsskiy, V.I. (2018). Geochemical features of dyke rocks of the Argentine Islands and the near area of the Antarctic Peninsula (Western Antarctica). *Arctic and Antarctic Research*. 64, 3, 270-293. [In Russian]

Bakhmutov, V.G., Gladkochub, D.P., Shpira, V.V. (2013). Age position, geodynamic specifics and paleomagnetism of intrusive complexes of the western coast of the Antarctic Peninsula. *Geophysical Journal*, 35, 3, 3-30. doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i3.2013.116387

Curtis, R. (1966). The petrology of the Graham Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 50, 51.

Elliot D.H. (1964). The petrology of the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 41, 31.

Gavryliv, L.I. (2019). Cenozoic dykes of the Argentine Islands (West Antarctica): composition, conditions of the formation and geologic relationships. *Thesis ...Cand. Sci. (Geol.)*: 04.00.01. Kyiv National Taras Shevchenko University. [In Ukrainian]

Jordan, T.A., Riley, T.R., Siddoway, C.S. (2020). The geological history and evolution of West Antarctica. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 117–133. doi.org/10.1038/s43017-019-0013-6

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

Mytrokhyn, O.V., Bakhmutov, V.G. (2019). Stratigraphy of the area of Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky Station. *Ukrainian Antarctic Journal*, 1, 18, 45-61. doi.org/10.33275/1727-7485.1(18).2019.129 [In Ukrainian]

Mytrokhyn, O., Bakhmutov, V., Aleksiienko, A., Mytrokhina, T., Marushchenko, O. (2021). Intrusive-magmatic complexes of Wilhelm Archipelago, West Antarctica (Part 1 – intrusions of gabbroids, diorites and granitoids). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4, 95, 6-15. http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.01 [In Ukrainian]

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

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

Ryan, C.J. (2007). Mesozoic to Cenozoic igneous rocks from Northwestern Graham Land: constraints on the tectono-magmatic evolution of the Antarctic Peninsula. University of Brighton.

Надійшла до редколегії 17.03.22

O. Mytrokhyn, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com,
Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of the Ukraine,
32 Palladin Ave., 03680, Kyiv, Ukraine;
L. Gavryliv, PhD (Geol.), Post-doc.,
E-mail: liubomyr.gavryliv@uniba.sk,
Comenius University, Faculty of Natural Sciences,
Ilkovičova 3278/6, 841 04 Karlova Ves, Bratislava, Slovakia

INTRUSIVE-MAGMATIC COMPLEXES OF WILHELM ARCHIPELAGO, WEST ANTARCTICA (PART 2 – HYPABYSSAL AND SUBVOLCANIC DYKE ROCKS)

The second part of the work "Intrusive-magmatic complexes of Wilhelm Archipelago, West Antarctica" is devoted to dykes. The authors studied dyke rocks in the Ukrainian Antarctic Station area in order to specify their petrographic diversity as well as to clarify the spatial distribution of the dykes, their geological position, age and geological relationships with other igneous formations in the region. It was found that hypabyssal and subvolcanic dykes of the Mesozoic-Cenozoic age are widespread on the Wilhelm Archipelago. The most common composition are mafic and intermediate rocks namely microgabbros, diabases, basalts and microdiorites. Felsic dykes are subordinate. Typically, studied rocks occur as small dykes that can concentrate in extended swarms. Sill-like intrusions are less common. The spatial distribution of dykes is controlled by the Lemaer – Penola fault zone of northeastern strike. Their greatest concentration was found on the Argentine Islands. The geological relationships of the dykes with isotopically dated granitoids as well as the sequence of intrusion of individual dyke bodies, which is established in the places of their distribution, allowed to distinguish, at least, two stages of dyke formation - namely Mesozoic and Cenozoic. The most ancient dyke formations of the Argentine Islands are hypabyssal dykes and sill-like intrusions of the Mesozoic age. They intruded after the accumulation of the Jurassic-Cretaceous volcanic strata of the Argentine Islands, but before the formation of the Paleogene granitoids on the Barchans and Forge Islands. The petrographic diversity of Mesozoic dyke rocks is represented by microdiorites and microgabbros, as well as their contact-metamorphosed equivalents. All hypabyssal and subvolcanic dykes intruding the Paleogene granitoids on Barchans and Forge islands are of Cenozoic age. Among them, the most common are diabase and basalt dykes. Microdiorites are of subordinate importance. The characteristic petrographic features of the Cenozoic dykes allow to identify their age analogs outside of the Barchans-Forge granitoid intrusion.

Keywords: Antarctic region, geology, dyke, hypabyssal and subvolcanic rocks.

УДК. 911.2.502.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.02>

M. Lushchyk, PhD (Geogr.), Assist.,
E-mail: murmarja@gmail.com;
V. Mokryy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
E-mail: volodymyr.i.mokryy@lpnu.ua;
Ya. Moscvyak, PhD (Econ.), Assoc. Prof.,
E-mail: slavakohanec1201@gmail.com;
L. Teodorovych, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.,
E-mail: lora.teod@gmail.com;
Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development,
Lviv Polytechnic National University,
2/4 Karpinskoho Str., Building 1, Lviv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE TOURIST ATTRACTIVENESS OF GLOBAL GEOPARKS IN EUROPE

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

The article provides an inventory of geoparks from the list of the UNESCO Global Geoparks Network. It is noted that geoparks as important tourist attractions have been the subject of scientific attention of many authors, but the data presented in these publications are outdated and can not claim to be relevant to the current state of the geoparks network, as it is quite dynamic and changes every year. The research of the chosen topic in the scientific domestic and foreign literature is characterized. The insufficiency of the tourism research of the UNESCO geoparks system is pointed out. The structural-territorial analysis of the distribution of objects is performed: absolute and relative indicators of the number of objects by macroregions are established. A cartographic model of the distribution of objects on the planet is presented. Monitoring of a specific set of geotourism attractions within each of the geoparks is done taking into account the following thematic types: geological and geomorphological (geological and geomorphological formations - the mountains, intermountain basins and gorges, craters and cones of volcanoes, river valleys, deltas and canyons, lakes, waterfalls, sea coasts, deserts and aeolian, glaciers and glacial, karst and pseudo-karst landforms, geological forms and phenomena - the minerals, rocks, structural and tectonic formations, paleontological fossils, geothermal phenomena; geological and geomorphological processes - volcanic eruptions, geyser explosions, avalanches, coastal processes on sea and lake coasts, melting glaciers, dune movements, erosion processes); industrial (the open and underground mine workings, clay and sand quarries, pits, exploratory shafts, drain lines, rock dumps, tunnels, catacombs, surface and underground military objects, engineering and geological activities, construction of tunnels, construction of roads and highways, use of geothermal water); cultural and cognitive (works of material culture are different buildings made of natural materials and the elements of their arrangement, stone pyramids, rock cities and temples, the stone artefacts, the stone elements of urban infrastructure, the works of art, jewellery, museum and other expositions, open-air expositions, such places of fossils, supporting stratigraphic sections, places of minerals and rocks location); tourist and infrastructural attractions (availability of the geopark for the access by several types of transport, several tourist accommodation options, currency exchange offices, recreation facilities, parking lots, places for tents; Tourist Information Centres; marked tourist routes for the needs of several types of tourism (cycling, green-, caving, water- tourism); marking of tourist attractions (information stands. Information support of tourism (creating internet portals of the geopark, mobile applications); accessibility of the geopark to the inclusive tourists). According to the indicators of occupancy of various thematic blocks, geoparks were ranked according to the scale of levels of attractiveness.

Keywords: geoparks, geomorphosites, geotourism attractions, geotourism attractiveness.

The problem in general and its relationship with important scientific and practical tasks. The different geological and geomorphological formations: mountain masses, canyons and river deltas, karst and glacial forms, volcanoes, waterfalls, etc. have attracted people's attention since ancient times. People settled near them, used for defence or conducting religious rites. Over time, the meaning and the functions of such places have changed: they became important not only for studying the unique features of a particular geographical place, but also for the history of the entire Earth. They began to be visited by tourists and scientists. In many countries around the world, a number of inanimate objects particularly valuable in the scientific (geological, mineralogical, paleontological, geographical, etc.) and aesthetic terms have legal protection. Every year, the tourists' interest in the geological and the geomorphological objects as an alternative to the historical and the cultural monuments is growing. The geotourism is developing, which is a type of travel related to the inspection and the study of objects of inanimate nature (Chen, 2015; Cutler, 2010; Dowling, 2011; Hose, 2005; Khomenko, 2018; Newsome, 2005; Ollier, 2012). The geosites are the main attractions for tourists on these trips, which, in particular, are the interesting geological and geomorphological objects in combination with the surrounding area, reflecting the history of the nature and society development on a certain territory. These objects are a part of the general concept of protection, education and sustainable (balanced) development, which has found its

practical expression in the idea of creating geoparks (Alexandrowicz, 2006). A geopark is a protected area of national significance that contains particularly important, rare (or unique), aesthetically attractive geological and geomorphological objects of the scientific, educational and recreational value. In addition to the objects representing geological heritage, the geoparks also contain archaeological, ecological, historical and cultural monuments, which form the geotourism attractiveness of geoparks (Alexandrowicz, 2006; Geotourism, 2006; Gray, 2004). It is the assessment of the geotourism attractiveness of geoparks that is the subject of our study.

Analysis of recent researches and publications in which there is the solution of the problem, is relied upon by the author. According to the initial functioning principles, the geoparks take an active part in the social and economic development of the location region by popularizing geoheritage and developing geotourism, as well as cooperating with the local enterprises to popularize and create the new tourist products related to the geoheritage. The geoparks try to modernize the information in communities about the importance of protecting and using the unique heritage of the Earth in order to preserve it for the future generations, and hold the actions to study public opinion on the problems of natural (including geological) sciences. The geoparks hold the scientific researches, inventory, mapping, protection and preservation of geosites, they lay the tourist routes connecting the park objects with the tourist infrastructure, organize educational programs,

© Lushchyk M., Mokryy V., Moscvyak Ya., Teodorovych L., 2022

cultural and scientific events, and so on. They play an active role in organizing and implementing educational activities related to the Earth Sciences, the sciences on natural environment and the balanced development. The geoparks are managed in accordance with the state legislation of the country of its location, in compliance with the protection and sustainable development policy. One of the main goals that all geoparks set for themselves is to improve and expand the methods of protecting, arranging and popularizing geological and geomorphological objects located on their territories. For this purpose, the geoparks are constantly experimenting, developing and improving the methods of activities, supporting scientific researches in different branches of Earth Sciences. In order to facilitate the implementation of these tasks, they are combined into the networks of geoparks. The Global Geopark Network (GGN) was launched in 1998 as an element of the UNESCO's activities (*UNESCO Geoparks Programme, 1999*).

The main material of the research with the full substantiation of the received scientific results. The UNESCO's structural and full-fledged work with geoparks began in 2001. In 2004, 17 European and 8 Chinese geoparks met at the UNESCO headquarters in Paris to form the GGN, where the national geological heritage initiatives promote membership in the global network of exchange and cooperation. Since then, the network of Geoparks has grown. During the 38-th session of the UNESCO General Conference in 2015, 195 UNESCO member states ratified the creation of a new sign, that is, the UNESCO Global Geoparks. They are becoming an increasingly important tool for UNESCO to engage member states and their communities in the Earth Sciences and geological heritage.

According to UNESCO, in order for a geopark to apply for inclusion in the global network, it should have a management plan developed on the basis of geotourism, to promote sustainable social and economic development; demonstrate methods of preserving and protecting geological heritage, provide funds for teaching geo-scientific

disciplines and environmental issues; have joint proposals from public authorities, local communities and individuals working together, and demonstrate best practices for preserving the land's heritage and integrating it into the sustainable development strategies.

There are many studies on a comprehensive research of the UNESCO Global Geopark Network evolution (*Du, Girault, 2018*). The literary and bibliographic reviews of the interdisciplinary and the narrow-industry researches on the geoparks functioning in the recent years confirm the high popularity and relevance of the scientific researches in this field (*Stoffelen, 2019; Ólafsdóttir, Tverijonaite, 2018; Herrera-Franco et al., 2021*). The works of the following researches are devoted to the features of creating geoparks and studying geotourism objects on the territory of Ukraine, namely the works by H. Denysyk, Yu. Zinko, V. Maniuk, O. Shevchuk, H. Bairak, L. Teodorovych and many others (*Bairak, Teodorovych, 2020; Denysyk, 2014; Kravchuk, 2012; Manyuk, 2007; Shevchuk, 2011; Zinko, 2008a, b*).

Since 2015, the parks that are a part of the Global Geoparks Network have been officially recognized as UNESCO Global Geoparks (*Gordon, 2005; Ramsay, 2017*). At the same time, with the increased interest in geoheritage objects and an increase in the number of people who want to visit them, the issue of preservation and the rational use arose, the need for further study of these objects has increased as well.

According to the list of UNESCO Global Geoparks (UGGP) of May 2021, there are 169 parks in the UNESCO Global Geopark Network in 44 countries around the world (Fig. 1, Table 1).

The largest number of geoparks is located in Europe, that is – 88 (over 52% of their total number) located on the territory of 27 UNESCO member states. The majority of geoparks operate in such countries as Spain (15), Italy (11) and the United Kingdom (8). There are also the geoparks located within the territories of two states: Austria- Slovenia; Germany-Poland; Ireland & UK (Table 1, Fig. 2, Fig. 3).

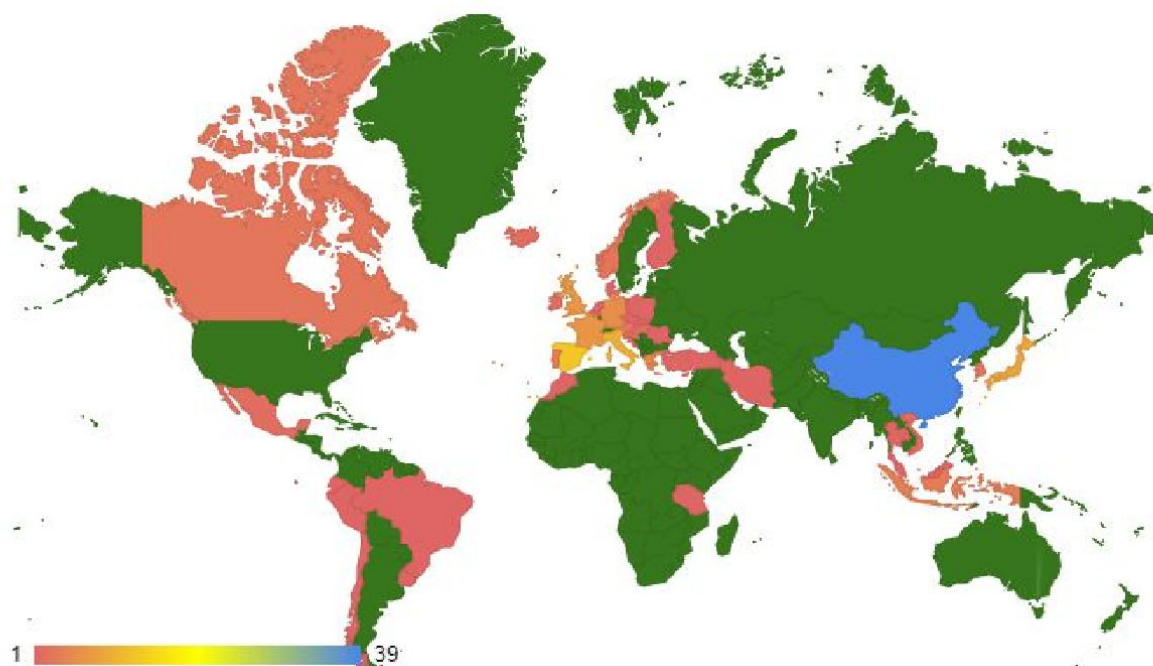


Fig. 1. List of UNESCO Global Geoparks

Table 1

Number of geoparks in the world (*List of Geoparks...*, 2021)

Part of the world / country	Numbers of geoparks		Part of the world / country	Numbers of geoparks		Part of the world / country	Numbers of geoparks		Part of the world / country	Numbers of geoparks	
	pcs	%		pcs	%		pcs	%		pcs	%
Europe	88	52, (1)	Asia	66	39, (1)	America	13	7, (7)	Africa	2	1, (2)
Austria	2	1.8	China	41	24.3	Brasil	1	0,(6)	Morocco	1	0,(6)
Belgium	1	0,(6)	Indonesia	6	3,(6)	Canada	5	3	Tanzania	1	0,(6)
Austria-Slovenia	1	0,(6)				Nicaragua	1	0,(6)			
Croatia	2	1,(2)	Iran	1	0,(6)	Chile	1	0,(6)			
Cyprus	1	0,(6)	Japan	9	5.3	Ecuador	1	0,(6)			
Czech	1	0,(6)	Malaysia	1	0,(6)	Mexico	2	1,(2)			
Denmark	2	1,(2)	Republic of Korea	3	1,(8)	Peru	1	0,(6)			
Finland	3	1,(8)	Thailand	1	0,(6)	Uruguay	1	0,(6)			
France	7	4,(1)	Turkey	1	0,(6)						
Germany	7	4.1	Vietnam	3	1,(8)						
Germany-Poland	1	0,(6)									
Greece	6	3,(6)									
Hungary	1	0,(6)									
Iceland	2	1,(2)									
Ireland	2	1,(2)									
Ireland & UK	1	0,(6)									
Italy	11	6,(5)									
Netherlands	1	0,(6)									
Norway	3	1,(8)									
Poland	2	1,(2)									
Portugal	4	2,(4)									
Romania	1	0,(6)									
Russian Federation	1	0,(6)									
Serbia	1	0,(6)									
Slovakia	1	0,(6)									
Slovenia	1	0,(6)									
Spain	15	8,(9)									
United Kingdom	7	4,(4)									

The Asian region is slightly inferior to Europe, and concentrates on its territory 66 (39% of the total list) geoparks of the world, on the territory of 9 states. In terms of the number of geoparks, the undisputed leaders of this macro-region are China (41), which is the leader of the region and the world, Japan (9) and Indonesia (6). The Asian "threesome" is fully included in the top 5 world leaders and takes the 1-st, 3-rd and 5-th places, respectively (Fig. 2, Fig. 3).

The American region is represented by 8 states with 13 objects. It is five times inferior to the Asian one. The region's share reaches only 7.7% of all the attractions. Canada is the leader here, with 5 geoparks on its territory; there are 2 of them in Mexico, and the remaining 6 countries have 1 geopark each.

Only 2 Geoparks have been created on the territory of the African continent, while none have been created in the Australian-Oceanic macro-region (Fig. 2, Fig. 3).

Each of the geoparks has a specific set of geotourism attractions, and therefore a different level of geotourism attractiveness. Based on the inventory results of the geomorphosites on the territory of the Global European Geopark Network we will assess the tourist attractiveness of the European geoparks.

According to the definition made by Polish researchers Ye. Zhaba and K. Gaidzik (2010), the objects of geotouristic interest are the objects and the phenomena of inanimate

nature that were formed in a natural way, as well as the anthropogenic forms and formations that arose as a result of unconscious or purposeful human activity. Among them:

- Landforms (geological and geomorphological formations) are the mountains and mountain countries, intermountain basins and gorges, craters and cones of volcanoes, river valleys, deltas and canyons, lakes, waterfalls, sea coasts, deserts and aeolian landforms, glaciers and glacial landforms, karst and pseudo-karst (surface and underground) landforms, ravines, springs and landforms formed by them, coral reefs, etc;

- Geological forms and phenomena are the minerals, rocks and their varieties, structural and tectonic formations (folds, scales, slopes, discharges, specific bedding, etc.), magma intrusions and different manifestations of volcanism, paleontological fossils, mineralization processes, mineral deposits, geothermal phenomena (etc.);

- Geological and geomorphological processes are volcanic eruptions, geyser explosions, mud volcano activities, avalanches, coastal processes on sea and lake coasts, melting glaciers, dune movements and other aeolian processes, landslides, land slips, erosion processes, etc.;

- Forms of anthropogenic transformation of the environment are the open and underground mine workings, clay and sand quarries, pits, exploratory shafts, drain lines, rock dumps, active and ancient mining objects and related transformations of the

territories, tunnels, catacombs, surface and underground military objects (for example, tunnels, fortifications, etc.);

- Engineering and geological activities are the drilling wells, dams, operation of marine and oceanic drilling platforms, search for minerals on the Earth's surface and on the ocean floor, construction of tunnels, construction of roads and highways, use of geothermal water, etc.;

- Works of material culture are different buildings made of natural materials and the elements of their arrangement, stone structures (pyramids, rock cities, temples, etc.), the stone artefacts found during archaeological excavations, the stone elements of urban infrastructure, the works of art, jewellery and their connection with the extraction of precious stones, etc.;

- Museum and other expositions are the geological, mineralogical and paleontological museums, demonstration geosites (open-air expositions), such places of fossils, supporting stratigraphic sections, places of minerals and rocks location, geotouristic trails. Adapting this objects' classification for the needs of tourism, we can distinguish the following thematic blocks of the geotourism attractions:

- Geological and geomorphological;
- Industrial;
- Cultural and educational;
- Tourist and infrastructure.

Based on the objects' typology, we will hold an inventory of the objects of all geoparks in Europe (Table 2).

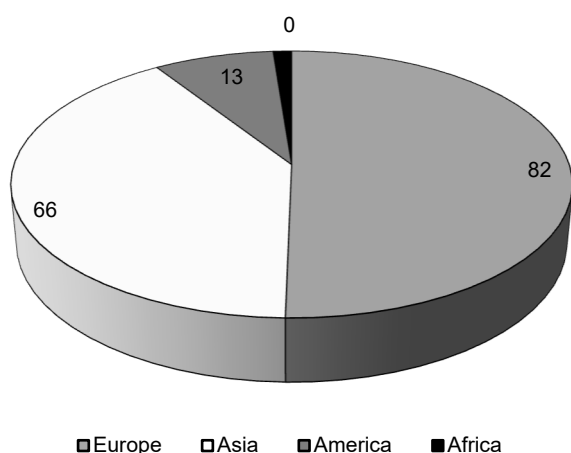


Fig. 2. Number of geoparks in the world by region
(List of Geoparks..., 2021)

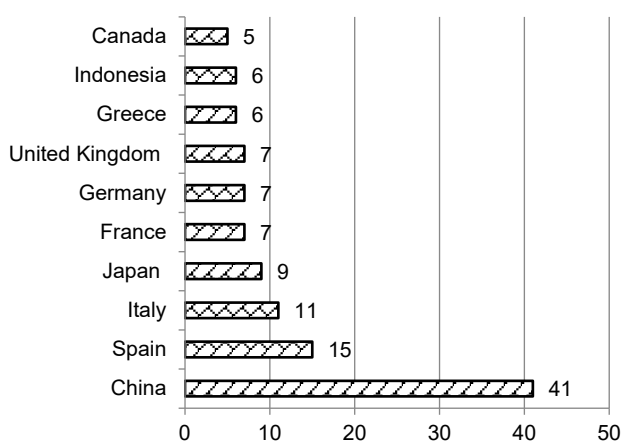


Fig. 3. Countries with the largest number of geoparks
(List of Geoparks..., 2021)

Table 2

Geoparks geotouristic attractions (List of Geoparks..., 2021)				
Geotouristic attractions	Geological and geomorphological attractions	Industrial attractions	Cultural and educational attractions	Tourist and infrastructure attractions
Ore of the Alps	Slate mountains, glaciation, excessively deep river valleys and slopes, instability of slopes, landslides and rockfalls, deposits of valuable mineral resources, geological rock outcrops, waterfalls	Exhibition mines of villages, traces of ancient mining activities	Environmental programs, minery for visitors, exhibition tunnels, museum of minerals	Tourist centre for visitors, bike routes, hiking trails, mystical tours
Styrian Eisenwurzen	The mountains up to 1000 m high, the wide valleys of the main rivers, deep gorges, Cretaceous and Paleogene rocks, the boundary of the Cretaceous and Tertiary period, the springs, some of which have huge power, a large gypsum cave, an ice cave and a cave in which the remains of a cave bear were found as well as some remarkable artefacts of 30,000 years old (known fossil fauna of corals and molluscs, including ammonites, snails, bivalves. The remarkable fossils also include the rudist reefs, a type of sessile bivalve mollusc. In the landscape, the moraines and the river terraces witness the Great Ice Age)	Steel mills, historic churches, houses and manors, rich heritage of traditional customs, water factory	GeoCenter, Silvanum Austrian Forest Museum and HochQuellenWasser Museum, unique fruit orchards	Special programs for the private participation of local children and for schools, Natural Diet detox programs
Karawanken/Karavanke	Alpine mountains with a height of more than 2000 meters, the remains of sea snails, sea lilies and even ichthyosaur bones, which testify to the rich life of the former Tethys Sea, Smrekovets underwater volcano	Rich mining and iron production, old mineries		Courses for teachers and master classes for kindergarten and school-age children

Based on this monitoring, we were able to obtain the comprehensive information for each geopark, hence, all the geoparks were ranked according to the level scale (fig. fullness of different thematic blocks) – Fig. 4.

This systematization allows us to talk about the different geotourism potential of the geoparks themselves, and, accordingly, the different tourist use of the geoparks (Table 3).

Levels	Geological and geomorphological attractions	Industrial attractions	Cultural and educational attractions	Tourist and infrastructure attractions
High +++	The site is a "key" area for studying the geological history of the Earth. It is a unique object on a global scale. It accumulates different types of geomorphological objects (at least 3 types, for example, karst, glacial and aeolian landforms), different geological formations (for example, sections, folds, scales) that are the visual locations for demonstrating the manifestations of modern or ancient geological and geomorphological phenomena or processes (for example, the eruption of mud volcanoes, the activity of artesian springs)	The site is a visual demonstration of historical crafts, the former military structures, and the ancient infrastructure facilities (at least 2 types)	The site is an object of a cultural and educational tourism. There are museum and other expositions, exhibitions of the archaeological artefacts. The site is a venue for scientific, entertainment and festival events, actively used in local history awareness and education. It is a training centre for professional guides and tour guides, a place for holding trainings on the geotourism activities. The territory plays a significant role for the local culture and it is associated with the artistic events	Availability and accessibility of the geopark for the access by several types of transport. Several tourist accommodation options. Currency exchange offices. Recreation facilities, parking lots, places for tents. Availability of Tourist Information Centres. Marked tourist routes for the needs of several types of tourism (cycling, green-, caving, water-tourism). Marking tourist attractions (information stands. Information support of tourism (creating internet portals of the geopark, mobile applications). Accessibility of the geopark to the inclusive tourists
Average ++	The site has a relatively high level of geological uniqueness on a regional scale. It accumulates the geological and geomorphological sites of different origins (at least 2 types) that are visual for demonstrating the manifestations of modern or ancient geological and geomorphological phenomena or processes (at least 1 type)	The site is a visual demonstration of historical crafts, the former military structures, and the ancient infrastructure facilities (at least 1 type)	Geological, mineralogical and paleontological museums, demonstration geosites (open-air expositions). The site is a venue for scientific, entertainment and festival events (at least 1 type). It is used in the field of awareness-raising and education	Available access. Accommodation (minimum 1) and meals (minimum 1) facilities. Availability of Tourist Information Centres. Marked tourist routes for the needs of different types of tourism (at least 2). Marking tourist attractions. Informational support of tourism (at least 1 type of activity)
Low +	The site is unique on a regional scale and it is represented either by one- or two-type geological-geomorphological sites, or it is demonstrable for the manifestations of modern or ancient geological and geomorphological phenomena	The site is visual for demonstrating at least some objects of the ancient industry, or there are no such objects at all	The territory has no museums or exhibition expositions, but only the open-air demonstration expositions. The site is a venue for festivals or the other events, or it is used for the awareness-raising and education of the schoolchildren / students	No tourist accommodation and catering establishments. Marked tourist routes for the needs of only one type of specialized tourism or lack thereof

Fig. 4. Level scale

Table 3

Assessment of the geoparks' geotourism potential

№	Geotouristic attractions	Geological and geomorphological attractions	Industrial attractions	Cultural and educational attractions	Tourist and infrastructure attractions	TOTAL
1	Ore of the Alps	+++	+++	+++	+++	+++
2	Styrian Eisenwurzen	+++	++	+++	+++	++
3	Karawanken / Karavanke UGGp*	++	++	+	+	+
4	Famenne-Ardenne	++	++	+++	+++	++
5	Papuk	+++	+	+++	+++	++
6	Vis Archipelago	++	++		+	+
7	Troodos	+++	++	++	++	++
8	Bohemian Paradise	+++	+++	+++	+++	+++
9	Odsherred UGGp	+++	++	+++	+++	++
10	Vestjylland	++	++	+	+	+
11	Rokua	++	++	+++	+++	++
12	Lauhanvuori-Haameenkangas	+++	+	+++	+++	++
13	Saimaa	++	++		+	+
14	Beaujolais	+++	++	++	++	++
15	Causses du Quercy	+++	+++	+++	+++	+++
16	Chablais	+++	++	+++	+++	++
17	Haute-Provence	+++	+++	+++	+++	+++
18	Luberon	+++	++	+++	+++	++

19	Massif des Bauges	++	++	+	+	+
20	Monts d'Ardèche	++	++	+++	+++	++
21	Bergstraße-Odenwald	+++	+	+++	+++	++
22	Harz, Braunschweiger Land	++	++		+	+
23	Swabian Alb	+++	++	++	++	++
24	TERRA.vita	+++	+++	+++	+++	+++
25	Vulkaneifel	+++	++	+++	+++	++
26	Thuringia Inselsberg -Drei Gleichen	++	++	+	+	+
27	Muskauer Faltenbogen / Łuk Mużakowa **	++	++	+++	+++	++
28	Chelmos Vouraikos	+++	+++	+++	+++	+++
29	Lesvos Island	+++	++	+++	+++	++
30	Psiloritis	++	++	+	+	+
31	Sitia	++	++	+++	+++	++
32	Vikos-Aoos	+++	+	+++	+++	++
33	Grevena - Kozani	++	++		+	+
34	Katla	+++	++	++	++	++
35	Reykjanes	+++	+++	+++	+++	+++
36	Burren & Cliffs of Moher	+++	++	+++	+++	++
37	Copper Coast	++	++	+	+	+
38	Marble Arch Caves ***	++	++	+++	+++	++
39	Adamello-Brenta	+++	+	+++	+++	++
40	Alpi Apuane	++	++		+	+
41	Beigua	+++	++	++	++	++
42	Cilento, Vallo di Diano e Alburni	+++	+++	+++	+++	+++
43	Madonie	+++	++	+++	+++	++
44	Pollino	++	++	+	+	+
45	Sesia Val Grande	++	++	+++	+++	++
46	Rocca di Cerere	+++	+	+++	+++	++
47	Tuscan Mining Park	++	++		+	+
48	Aspromonte	+++	++	++	++	++
49	Maiella	+++	+++	+++	+++	+++
50	De Hondsrug	+++	++	+++	+++	++
51	Gea Norvegica	++	++	+	+	+
52	Magma	++	++	+++	+++	++
53	Trollfjell	+++	+	+++	+++	++
54	Holy Cross Mountains	++	++		+	+
55	Açores	+++	++	++	++	++
56	Arouca	+++	+++	+++	+++	+++
57	Estrela	+++	++	+++	+++	++
58	Naturtejo da Meseta Meridional	++	++	+	+	+
59	Terras de Cavaleiros	++	++	+++	+++	++
60	Hačeg	+++	+	+++	+++	++
61	Djerdap	++	++		+	+
62	Idrija	+++	++	++	++	++
63	Basque Coast	+++	+++	+++	+++	+++
64	Cabo de Gata-Níjar	+++	++	+++	+++	++
65	Central Catalonia	++	++	+	+	+
66	Origens	++	++	+++	+++	++
67	Courel Mountains	+++	+	+++	+++	++
68	El Hierro	++	++		+	+
69	Granada	+++	++	++	++	++
70	Lanzarote and Chinijo Islands	+++	+++	+++	+++	+++
71	Las Loras	+++	++	+++	+++	++
72	Maestrazgo	++	++	+	+	+
73	Molina & Alto Tajo	++	++	+++	+++	++
74	Sierra Norte de Sevilla	+++	+++	+++	+++	+++
75	Sierras Subbéticas	+++	++	+++	+++	++
76	Sobrarbe-Pirineos	++	++	+	+	+
78	Villuercas Iboreas Jara	++	++	+++	+++	++
79	Black Country	+++	+	+++	+++	++
80	English Riviera	++	++		+	+
81	Fforest Fawr	+++	++	++	++	++
82	GeoMôn	+++	+++	+++	+++	+++
83	North Pennines AONB	+++	++	+++	+++	++
84	North-West Highlands	++	++	+	+	+
85	Shetland	++	++	+++	+++	++

* – Austria and Slovenia,

** – Germany and Poland,

*** – Ireland & United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.

To geoparks with high geotourism attractiveness, we have included those geoparks which are absolutely unique object on a global scale. Various types of geological and geomorphological formations (mountains, intermountain basins and gorges, volcanoes, river valleys or canyons, lakes), waterfalls, seashores, deserts, glaciers and glacial landforms, karst, erosions, coral reefs, etc.), various geological formations (eg sections, folds, scales), volcanic eruptions, geyser eruptions, avalanches, melting glaciers, dune movements, landslides, landslides, erosion and abrasion processes are organically combined on their territory. The territory of these geoparks has undergone a certain anthropogenic transformation and preserves the material memory of mining, quarries, existing and ancient mining facilities, surface and underground military facilities. The site is actively used in tourism and cultural and cognitive social activities: there are museums and exhibitions, mass events (scientific, artistic, entertainment, etc.), the area is adapted for tourists (there are tourist infrastructure, available tourist marking of objects and routes, the territory is accessible for inclusive tourist, there is information support of tourist activity, several directions of tourism are developing).

Geoparks with medium geotourism attractiveness have a relatively high level of geological uniqueness on a regional scale, on their territory are geological and geomorphological objects of at least two geneses (eg., mountains and waterfalls, volcanic cones and sea coasts), the site clearly demonstrates the manifestations of modern or geological and geomorphological phenomena or processes. It has everything you need to carry out tourist activities (exhibitions, infrastructure, tourist markings), but on a much smaller scale.

Geoparks with low tourist attractiveness include those geoparks that are at the stage of increasing their tourist potential. Among the tourist attractions here are mostly open-air exhibitions, tourist infrastructure (accommodation, food, other services) are still developing, tourist marking is either absent or partial, the area is used only by one specialized type of tourism.

Conclusions. The structural-territorial analysis of the distribution of objects is performed: absolute and relative indicators of the number of objects by macroregions are established. A cartographic model of the distribution of objects on the planet is presented. The specific set of geotourism attractions within each of the geoparks was monitored by the following thematic types: geological-geomorphological (landforms (geological-geomorphological formations), geological forms and phenomena, geological and geomorphological processes); industrial (forms of anthropogenic transformation of the environment, engineering and geological activities); cultural and cognitive (works of material culture, museum and other expositions, events); tourist-infrastructure (catering and accommodation, transfer, tourist marking, information support) attractions. According to the indicators of filling of various thematic blocks, geoparks were ranked according to the scale of levels of

attractiveness, on the basis of which geoparks with high, medium and low tourist attractiveness were distinguished.

References

- Alexandrowicz, Z. (2006). Geopark – nature protection category aiding the promotion of geotourism (Polish perspective). *GeoTurystyka*, 2 (5), 3–12.
- Alexandrowicz, Z. (2006). Geoparki – nowe wyzwanie dla ochrony dziedzictwa geologicznego. *Przeg. Geologiczny*, 54, 1, 36–41.
- Bairak, H., Teodorovych, L. (2020). Heoloho-heomorfologichni obiekty Beskydiv Ukrainykh Karpat ta yikh turystychna pryvabyvist. *Zhurnal heolohii, heohrafi ta heoekolohii*, 29 (1), 16–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112002>
- Chen, A., Lu, Y., Ng, Y.C.Y. (2015). The Principles of Geotourism. Springer, Beijing.
- Cutler, S.Q. (2010). Geotourism: The tourism of geology and landscape. Goodfellow Publishers Ltd, Oxford. Doi: 10.1016/j.tourman.2010.06.021
- Denysyk, G.I., Strashchevs'ka, L.V., Korinnyj, V.I. (2014). Geosajty Podillja [Geosites of Podolia]. Vinnycja: *Vinnyc'ka oblasna drukarnja*. [In Ukrainian]
- Dowling, R. (2011). Geotourism's global growth. *Geoheritage*, 3, 1–13.
- Du, Yi, Girault Y.A. (2018). Genealogy of UNESCO Global Geopark: Emergence and Evolution. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 6 (2), 1–17. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01974364/document>
- Geotourism. (2006). Ed. by K. Dowling Ross and David Newsome. Elsevier Ltd.
- Gray, M. (2004). Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons, Ltd.
- Herrera-Franco, G., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Jaya-Montalvo, M., Gurumendi-Noriega, M. (2021). Worldwide Research on Geoparks through Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 13(3), 1175. <https://doi.org/10.3390/su13031175>
- Gordon, J. E. (2005). Geological conservation. *Encyclopedia of Geology*, 29–35. Doi: 10.1016/B0-12-369396-9/00186-6.
- Hose, T.A. (2000). European "Geotourism" – geological internation and geoconservation promotion for tourists. In Baretino, D. (Ed.) *Geological Heritage: Its Conservation and Management*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Madrid, 127–146.
- Khomenko, Yu. T., Isakov, L. V., Manyuk, V. V. (2018). On the development of geotouristic routes on the objects of the Precambrian Rock Association of the Western Pridniprovia. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(2), 244–260. Doi:10.15421/111849
- Kravchuk, JA., Boguckij, A., Brusak, V., Zinko, Ju., Shevchuk, O. (2012). The designed geoparks of the Ukrainian Carpathians. *Nauk. visn. Cherniv. nacion. un-tu, Geografija*, 612-613, 102-107. [In Ukrainian]
- List of Geoparks & Regional Networks. (2021). Retrieved from <https://en.unesco.org/global-geoparks/list>.
- Manyuk, V. (2007). The problem of creation of Network National Geoparks in Ukraine. Dnipropetrovsk. *Bulletin of the DNU*, 9, 11, 63–67. Doi: 10.15421/110714
- Newsome, D., Dowling, R. (2005). The scope and nature of geotourism. In: Dowling, R.K., Newsome, D. (Eds.), *Geotourism*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 3–25.
- Ollier C.D. (2012). Problems of geotourism and geodiversity. *Quaestiones Geographicae*, 31(3), 57–61. Doi: 10.2478/v10117-012-0025-5.
- Ólafsdóttir, R., Tverjónaite, E. (2018). Geotourism: A Systematic Literature Review. *Geosciences*, 8(7), 234. <https://doi.org/10.3390/geosciences8070234>
- Ramsay, T. (2017). Fforest Fawr Geopark – a UNESCO Global Geopark distinguished by its geological, industrial and cultural heritage. *Proceedings of the Geologists' Association*, 128, 3, 500–509. Doi: 10.1016/j.pgeola.2016.12.010.
- Stoffelen A. (2019). Where is the community in geoparks? A systematic literature review and call for attention to the societal embedding of geoparks. <https://doi.org/10.1111/area.12549>
- UNESCO Geoparks Programme – a new initiative to promote a global network of geoparks safeguarding and developing selected areas having significant geological features (1999). Hundred and fifty-sixth Session. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Executive Board. Paris.
- Shevchuk, O. (2011). Methodical bases of creation of national geoparks in Ukraine. *Nauk. visn. Cherniv. nacion. untu, Geografija*, 587–588, 82–88. [In Ukrainian]
- Zinko Yu., Shevchuk O. (2008a). Peredumovy stvorennia heoparku "Ukrainski Tovtry". *Materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Okhorona i menedzhment ob'ektiv nezhyvoi pryrody na zapovidnykh terytoriakh"*, Hrymaliv–Ternopil: Dzhura, 94–99. [In Ukrainian]
- Zinko Yu., Shevchuk O. (2008b). Pryrodookhoronni heomorfologichni obiekty u strukturi heoturizmu Zakhidnoi Ukrainy. *Visn. Lviv. un-tu. Ser. heohr.*, 35, 94–103. [In Ukrainian]

Надійшла до редколегії 28.03.22

М. Лущик, канд. геогр. наук, асист.,
E-mail: mirmarja@gmail.com;
В. Мокрий, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: volodymyr.i.mokriy@ipnu.ua;
Я. Москвяк, канд. екон. наук, доц.,
E-mail: slavakohanec1201@gmail.com;
Л. Теодорович, канд. геогр. наук, доц.,
E-mail: lora.teod@gmail.com;
Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола
Національного університету "Львівська політехніка",
вул. Карпінського, 2/4, корп. 1, Львів, Україна

ОЦІНКА ТУРИСТИЧНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ГЛОБАЛЬНИХ ГЕОПАРКІВ ЄВРОПИ

Подано інвентаризацію геопарків зі списку Глобальної мережі геопарків ЮНЕСКО. Зазначається, що геопарки, як важливі туристичні об'єкти, були предметом наукової уваги багатьох авторів, але дані, представлені в цих публікаціях, є застарілими і не можуть претендувати на відповідність сучасному стану мережі геопарків, оскільки вона досить динамічна і щороку змінюється. Охарактеризовано дослідження обраної теми у науковій вітчизняній та зарубіжній літературі. Вказано на недостатність туристичних досліджень системи геопарків ЮНЕСКО. Проведено структурно-територіальний аналіз розподілу об'єктів: встановлено абсолютні та відносні показники кількості об'єктів за макрорегіонами. Представлено картографічну модель розподілу об'єктів по планеті. Здійснено моніторинг конкретного набору геотуристичних об'єктів у межах кожного з геопарків за такими тематичними типами: геолого-геоморфологічні об'єкти (геолого-геоморфологічні утворення – гори, міжгірські улоговини та ущелини, кратери та конуси вулканів, річкові долини, дельти та каньйони, озера, водоспади, морські узбережжя, пустелі та еолові, льодовикові, карстові й псевдокарстові форми рельєфу; геологічні форми та явища – мінерали, гірські породи, структурні та тектонічні утворення, палеонтологічні скам'янілості, геотермальні явища, геологічні та вулканоморфні процеси вибухи гейзерів, лавини, берегові процеси на узбережжях морів і озер, танення льодовиків, рухи дюн, процеси ерозії); промислові об'єкти (відкриті та підземні гірничі виробки, глинисті та піщані кар'єри, кар'єри, пошукові шахти, дренажні лінії, гірські відвали, тунелі, катакомби, наземні та підземні військові об'єкти, інженерно-геологічна діяльність, будівництво тунелів, будівництво доріг і автомобільних доріг, використання геотермальної води); культурно-пізнавальні об'єкти (твори матеріальної культури – це різні будівлі з природних матеріалів та елементи їх облаштування, кам'яні піраміди, скельні міста та храми, кам'яні артефакти, кам'яні елементи міської інфраструктури, витвори мистецтва, ювелірні вироби, музеї та інші експозиції, експозиції під відкритим небом, місцезнаходження скам'янілостей, опорні стратиграфічні розрізи, місця розташування мінералів і гірських порід); туристичні та інфраструктурні об'єкти (транспортна доступність геопарку для кількох видів транспорту, декілька варіантів розміщення туристів, пункти обміну валют, бази відпочинку, стоянки, місця для наметів). Туристично-інформаційні центри. Марковані туристичні маршрути для потреб кількох видів туризму (велосипедний, зелений, спелеологічний, водний туризм). Маркування туристичних об'єктів: інформаційні стенди, інформаційне забезпечення туризму (створення інтернет-порталів геопарку, мобільні додатки), доступність геопарку для інклюзивних туристів. За показниками наповненості об'єктами різних тематичних блоків геопарки Європи були ранжовані за шкалою рівнів привабливості.

Ключові слова: геопарки, геоморфозити, геотуристичні атракціони, геотуристична привабливість.

УДК 551.24:551.87:796.5:910.4(477.8)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.03>

О. Гнилко, д-р. геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: ohnilko@yahoo.com;
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, м. Львів, 79060, Україна;
М. Богданова, асист.,
E-mail: Milena_bogdanova@ukr.net;
Львівський національний університет ім. Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79000, Україна;
Т. Божук, д-р. геогр. наук, проф.,
E-mail: tbozhuk@gmail.com;
Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГІЧНИХ/ГЕОТУРИСТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СКОЛІВСЬКИХ БЕСКИДІВ ЯК ПОКАЗНИКІВ ТЕКТОНО-СЕДИМЕНТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗОВНІШНІХ КАРПАТ

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

Представлено опис геологічної/геотуристичної екскурсії "вихідного дня" зі Львова в найближчу частину Карпат з оглядом відслонених відкладів Західноєвропейської платформи та Сколівських Бескид за маршрутом Львів – Миколаїв – Верхнє Синьовидне – Кам'янка – Львів. Подано комплексну характеристику геологічної позиції району маршруту. Описано основні геологічні об'єкти та пункти спостереження (зупинки) по ходу маршруту. Запропонований маршрут дозволить ознайомитись з цілим комплексом відкладів окраїни палеоокеану Тетис та давнього моря Паратетис, прослідкувати деякі індикатори початку росту Карпатських гір, а також побачити основну нафтогенеруючу товщу усієї Карпатської дуги. У пунктах спостереження 1 та 2 поблизу Миколаєва спостерігаємо міоценові мілководні піскуваті утворення Паратетису. Пункт 3 – це Угерське родовище газу в Передкарпатському прогині. У пункті 4 (Верхнє Синьовидне) відслонені літофації перехідної ланки між відкладами Тетису та Паратетису, причому відклади Паратетису тут виражені менілітовою світою (олігоцен) – основою нафтогенеруючою товщею Карпат. У пунктах 5 і 6 (потік Кам'янка) спостерігаємо найбільш глибоководні утворення Зовнішньокарпатського сегменту Тетису – продукти діяльності катастрофічних (у т.ч. турбідитних) потоків та фонові (гемі)пелагічної седиментації.

Ключові слова: Українські Зовнішні Карпати, Сколівські Бескиди, турбідити, геологічна екскурсія, геотуризм.

Вступ. У статті подається опис найдоступнішої геологічної/геотуристичної екскурсії "вихідного дня" зі Львова в найближчу частину Карпат з оглядом відслонених відкладів Західноєвропейської платформи та Сколівських Бескид. Сколівські Бескиди – одна з наймалювничіших ділянок Українських Карпат, де містяться унікальні природні об'єкти (Ващенко та ін., 2017; Пилипчук та ін., 2014), у тому числі геологічні пам'ятки (Калінін, Гурський, 2006). У районі запропонованого маршруту були описані важливі відслонення гірських порід (Вялов та ін., 1977), деякі туристичні геосайти (Бубняк, Солецькі, 2013) та об'єкти геотуризму, зокрема скелі, складені масивними ямненськими пісковиками (Ващенко та ін., 2017; Waśkowska et al., 2019). Проте комплексна характеристика геологічних/геотуристичних об'єктів як показників тектоно-седиментаційних процесів та подій, що відбувались на північній окраїні Карпатського сегменту палеоокеану Тетис, разом з будовою передової частини орогену, в літературі представлена недостатньо. Це є метою нашої статті.

Геологічна позиція. Територія проведення маршруту екскурсії розташована в Зовнішніх Карпатах, а саме – Передкарпатському прогині та прилеглий платформовий ділянці. Остання включає давню Східноєвропейську та молоду Західноєвропейську платформи (рис. 1).

Зовнішні (або Флішові) Українські Карпати заповнені крейдово-міоценовими, переважно уламковими, відкладами (так званим флішем), загальною потужністю до декількох кілометрів, які повністю зірвані зі своєї седиментаційної основи і насунені на окраїну платформи. Серед флішу домінують продукти діяльності катастрофічних суспензійних (турбідитних) і подібних до них потоків, які під дією гравітації переносили теригенний матеріал вниз по підводних схилах у глибоководні частини палеобасейну. Відклади "класичних" турбідитних

потоків формують пласти, що заповнені піскуватим алевро-глинистим матеріалом з прямою градаційною шаруватістю, та характеризуються текстурами послідовності Боума T_{abcde} . Вони зазвичай складають середньоритмічний фліш. Тонкоритмічний фліш складений тонкозернистими турбідитами з послідовністю Боума T_{abcde} , T_{cde} . Потужні (більше 1 м) шари масивних пісковиків – це зазвичай відклади високогустинних турбідитних чи зернових потоків. Серед флішу Карпат широко розвинені лінзи дебритів – седиментаційних брекчій та ненасичених конгломератів з хаотичними текстурами – продуктів мулисто-уламкових (подібних до селевих) потоків (англ. debris-flows), які часто облямовують великі осунні брили (олістоліти) і складають матрикс олістостром. Серед флішу зустрічаються також відклади придонних течій, яким не притаманна послідовність Боума, а натомість властива скісна шаруватість, добра відсортованість та алевритисті структури. Відклади фонові (гемі)пелагічної седиментації типу "частинка за частинкою з водної товщі", накопичені в проміжках між діяльністю катастрофічних потоків, представлені зеленими і червоними аргілітами з тонкопаралельношаруватими чи гомогенними текстурами (Рединг, 1990; Гнилко, 2010).

Поширення мікрофауністичних комплексів дрібних форамініфер (показників глибин моря) у фліші Зовнішніх Українських Карпат показало, що характерною рисою еволюції Зовнішньокарпатського басейну було його суттєве обміління від абісальних – батіальних (крейда–еоцен) до верхньобатіальних – субліторальних (кінець еоцену, олігоцен–міоцен) глибин (Пономарьова та ін., 2011).

Відклади Зовнішніх Карпат накопичувались на північній периферії Євразійській окраїні океану Тетис, який існував між Євразією та Африкою. Зовнішньокарпатський сегмент Тетису розміщувався між пасивною окраїною Євразії з одного боку, та активними краями терейнів Алькапа

© Гнилко О., Богданова М., Божук Т., 2022

та Тися-Дакія (мікроконтинентами в океані) – з іншого (див. рис. 1). Океанічна і субокеанічна кора седиментаційної основи Зовнішньокарпатського басейну в крейді-міоцені зазнавала субдукції під мікроконтиненти, а флішові осади зривались з цієї основи, формуючи акреційні призми, які зрештою були об'єднані в складчасто-покровну споруду Флішових Карпат. На рубежі еоцену-олігоцену колізійні події призвели до часткової ізоляції

Карпатського басейну. У цей же час відбулось вказане вище обміління флішового басейну, що пов'язується зі зростанням та загальним конседиментаційним підняттям акреційної покривно-складчастої споруди і подальшим її перетворенням в ороген (*Picha and Golonka, 2005; Гнилко, 2012; Гнилко та ін., 2019; Hnylko, 2014; Hnylko and Hnylko, 2015; Kováč et al., 2016, 2017*).

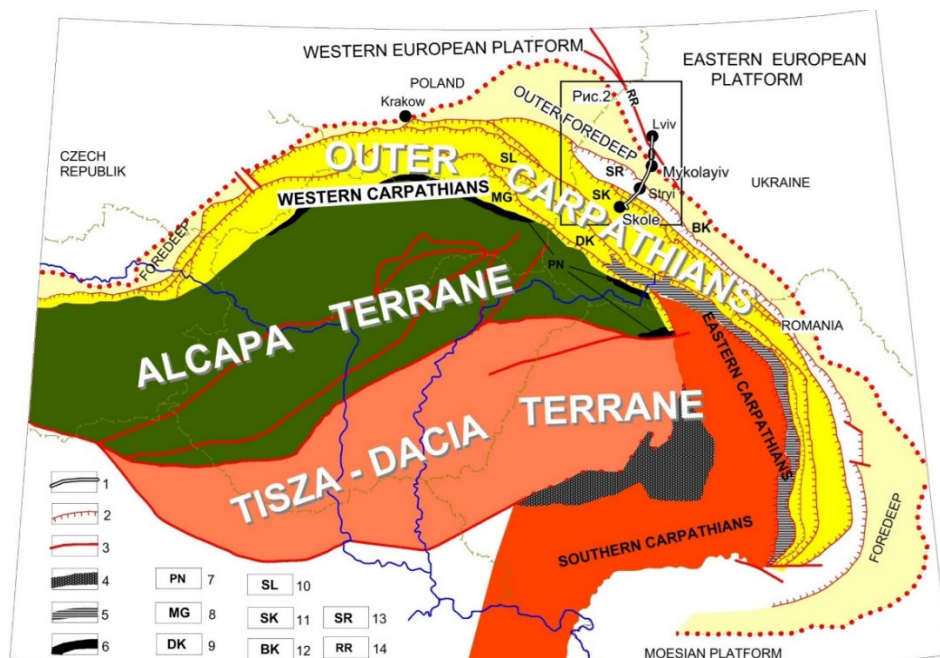


Рис. 1. Запропонована екскурсія на тектонічній схемі Карпат та Прикарпаття, положення терейнів і головних геологічних границь згідно з (*Kováč et al., 2016, 2017; Гнилко та ін., 2019*), частково модифіковано.

Цифрами позначено: 1 – маршрут геологічної екскурсії; 2 – насуви тектонічних покривів; 3 – розломи; 4-6 – сутурні (шовні) зони палеоокеану Тетис: 4 – Муреська, 5 – Примармароська, 6 – Пенінська; 8-12 – тектонічні покриви Зовнішніх Карпат (зображені жовтим кольором): 8 – Магурський, 9 – Дуклянський, 10 – Сілезький, 11 – Скибовий,

12 – Бориславсько-Покутський; 13 – Самбірський покрив (Внутрішня зона Передкарпатського неогенового прогину), 14 – Рава-Руський розлом – вірогідна межа Східно- і Західноєвропейських платформ

Акреційна орогенна споруда Карпат була насунена на частково затягнену в субдукційну зону пасивну Євразійську континентальну окраїну, а у форланді споруди, на зануреній у міоцені окраїні континенту, сформувався *Передкарпатський прогин*. Причому Зовнішня (або Більче-Волицька) зона прогину заповнена практично недеформованими неогеновими моласами, а Внутрішня – сильно деформованими та зірваними з основи (Самбірський покрив) моласовими відкладами (рис. 2).

У північно-західній частині Українського Передкарпаття в основі прогину свердловинами розкритий Лежайський масив, який належить до утворень фундаменту *Західноєвропейської платформи* (див. рис. 2). Масив складений сильнодислокованими слабометаморфізованими рифейськими (?) сланцями і філітами, що підстеляють міоцен. Уламки порід цього масиву значно поширені у відкладах Карпатського флішу і молас. Північно-східніше Лежайського масиву між Краковецьким і Рава-Руським розломами (див. рис. 2) у складчастому фундаменті *Західноєвропейської платформи* свердловинами розкриті глинисті і флішодні дислоковані утворення кембрію – нижнього девону, які перекриті мезозойськими відкладами платформового чохла і різнофаціальним неогеном (*Круглов и др., 1985;*

Колодій та ін., 2004). Рава-Руський розлом деякі дослідники вважають межею між Західно- і Східноєвропейською платформами (*Колодій та ін., 2004*), хоча положення цієї межі дискутується. Фундамент *Східноєвропейської платформи* складений дорифейськими кристалічними породами, а чохол (у західній частині платформи) – відкладами рифею-венду, кембрію, ордовіку, силуру, девону, карбону, юри, крейди і міоцену (*Круглов и др., 1985; Колодій та ін., 2004*).

Опис маршруту. Основні пункти спостережень (зупинки) (рис. 2).

1. Селище Тростянець поблизу м. Миколаїв – миколаївські піски опільської світи, міоцен, Західноєвропейська платформа.
2. Печери давнього Стільського городища поблизу м. Миколаїв, побудовані в миколаївських пісковицях.
3. Угерське родовище газу, Передкарпатський прогин.
4. Селище Верхнє Синьовидне – попільська (еоцен) і менілітова (олігоцен) світи, Зовнішні Карпати.
5. Водопад Кам'янка – ямненські пісковики (палеоцен), Зовнішні Карпати.
6. Потік Кам'янка – манявська світа (еоцен), Зовнішні Карпати.

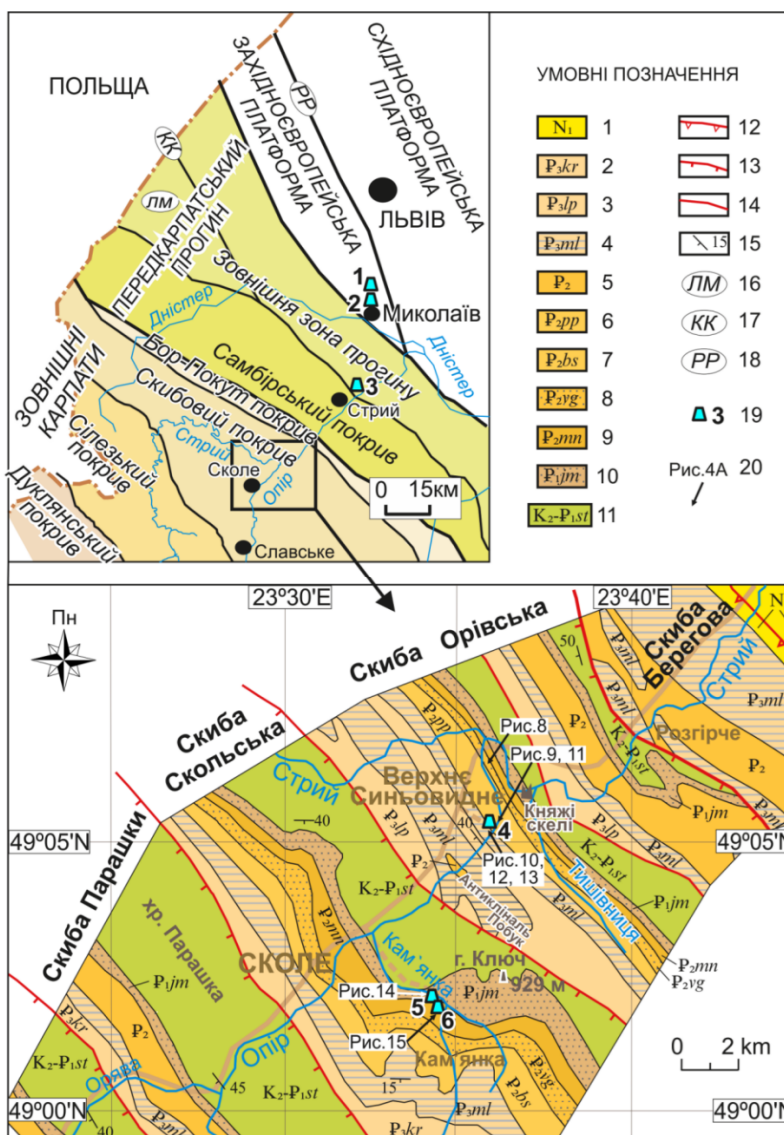


Рис. 2. Тектонічні елементи (зверху) та геологічна карта Сколівських Бескид (знизу):

фрагмент Державної геологічної карти (Досин, 1963) з незначними змінами) району запропонованої екскурсії.

Цифрами позначено: 1 – міоценові моласи; 2 – кросненська світа: сірий фліш; 3 – лоп'янецька (середньоменілітова) світа: сірий фліш з чорними аргілітами; 4 – менілітова світа: чорні аргіліти, пісковики; 5 – нерозчленовані еоценові відклади (ямненська, манявська, вигодська та бистрицька чи попелеська світи); 6 – попелеська світа: мергелі, ненасичені конглобрекції (відклади мулисто-уламкових потоків); 7 – бистрицька світа: зелений фліш; 8 – вигодська світа: пісковики; 9 – манявська світа: фліш зелений та строкатий (з червоними та зеленими аргілітами); 10 – ямненська світа: пісковики; 11 – стрийська світа: сірий фліш;

12 – насув Скибового покриву; 13 – насуви окремих скиб; 14 – розломи; 15 – елементи залягання порід;

16 – Лежайський масив в основі Передкарпатського прогину; 17 – Краковецький розлом; 18 – Рава-Руський розлом;

19 – локалізація пунктів спостережень і їх номери; 20 – локалізація фотографій відслонень

Маршрут починається в м. Львів. Місто було засноване в середині XIII ст. видатним полководцем свого часу князем Данилом Романовичем, який дав йому назву в честь свого сина Лева. Вперше про Львів згадується в Галицько-Волинському літописі при описі пожежі Холма, яка сталася 1256 р. Місто швидко стало визначним центром Галицько-Волинського князівства (Тронько, 1968).

Львів, ймовірно, розташований на південно-західній окраїні Східноєвропейської платформи, хоча утворення кристалічного фундаменту в цьому районі свердловинами не розкриті. Розріз потужного декількакілометрового чохла платформи завершується неогеновими відкладами, які з розмивом залягають на крейдових (маастрихтських) мергелях. Мергелі відслонюються в днищах потоків, зокрема поблизу Медової Печери, до їх

виходів приурочені ряд джерел питної води. На крейдових утвореннях залягають піски баденського ярусу (неоген) потужністю до перших десятків метрів. Піски суттєво кварцові, іноді містять скам'янілі стовбури дерев. Їм притаманна крупна скісна шаруватість дельтового типу. Над пісками розміщений так званий літотамнієвий горизонт вапняків, складений булами літотамнієвих водоростей. Цей горизонт має важливе геоморфологічне значення і формує основну структурну терасу у місті – Львівське плато. Вище залягають піски (г. Піщана біля Високого Замку) або ж піскуваті ратинські вапняки (г. Ратин, Медова Печера), які, вірогідно, в інших місцях фаціально заміщуються на гіпсо-ангідрити тираської світи (Вялов и др., 1977). Тираська світа має значне поширення на платформі та Передкарпатському прогині і є важливим кореляційним стратонамом.

Зі Львова виїжджаєм на південь Стрийським шосе, яке проходить по Львівському плато. Між Львовом і Миколаєвом, приблизно в районі селища Деревач, траса перетинає вірогідну межу між Східно- і Західноєвропейською платформами – Рава-Руський розлом. Цей розлом на поверхні не виражений.

Пункт спостереження 1. На північ від м. Миколаїв у селищі Тростянець у скелястому уступі пагорба відслонюється фрагмент верхньої частини чохла Західноєвропейської платформи. Це так звані миколаївські піски – фаціальний різновид опільської світи (міоцен, баден ~13-16 млн р.), яка з розмивом залягає на мезозої та перекривається тираською світою. Піски суттєво кварцеві, місцями з великою кількістю глауконіту, слаболітіфіковані. Характеризуються крупною скісною шаруватістю, спостерігаються також паралельна шаруватість і масивні гомогенні текстури. Їх нагромадження, вірогідно, відбувалось у неглибоких ділянках шельфового моря.

Пункт спостереження 2. У районі селища Стільське на околицях м. Миколаїв на невеликому пагорбі розташовані декілька рукотворних печер (рис. 3). Печери були побудовані в миколаївських пісковицях опільської світи. Проте тут, на відміну від попереднього відслонення, псамміти відносно добре літіфіковані. Пісковики різнозернисті, суттєво кварцеві, в них наявні також уламки порід і глауконіт. Їм притаманна крупна скісна шаруватість, яка охоплює все відслонення (заввишки 3–5 м). Ймовірно, тут виходить на поверхню фрагмент палеодельти.

Як встановили археологи, штучні печери є залишками великого міста, яке розміщувалось на плато над теперішнім селищем Стільське. В IX – на початку XI ст. тут було поселення, довжина оборонних валів якого сягала 10 км. В одному з головних проїздів до міста було розкопано кам'яну бруківку. Печери, ймовірно, відігравали роль дохристиянських культових споруд.



Рис. 3. Рукотворні печери Стільського городища поблизу м. Миколаїв. Миколаївські пісковики (неоген) зі скісною шаруватістю дельтового типу

Далі маршрут проходить на південь. При виїзді з Миколаєва, біля селища Розвадів проходить межа між платформою та Передкарпатським прогином. Вона трасується розломом, який активно проявився як скидовий у міоцені. Північніше від розлому платформові фації міоцену сягають потужності 100 м, тоді як південніше – моласові літофації цього ж віку зростають у потужності до більш ніж 1000 м., вказуючи на конседиментаційне прогинання окраїни Євразійського континенту (платформи) і формування Передкарпатського прогину перед насупним фронтом складчасто-покровної споруди Карпат. Маршрут пролягає в напрямку м. Стрий по рівній поверхні долини р. Дністер, під якою містяться практично недеформовані моласові відклади Зовнішньої зони передгірського прогину.

Пункт спостереження 3. Угерське родовище газу розташоване в 6 км на північ від м. Стрий. Зупиняємось біля "Озера геологів", утвореного в результаті техногенної аварії: в 1946 р. тут почалось відкрите фонтанування газу, виник кратер, пізніше заповнений водою (Бубняк, Солецькі, 2013). Угерська структура – це донеогеновий ерозійний виступ пізньокрейдових піскуватих відкладів чохла Західноєвропейської платформи, облямований неогеновими моласами Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. Вище структура має форму брахіантиклінальної складки з частково зрізаним насупом Самбірського покриву південно-західним крилом (рис. 4). У розрізі структури розбурено декілька покладів газу. Пізньокрейдові та неогенові пісковики утворюють резервуар, покривкою якого є молодші неогенові відклади. Нині на родовищі створено одне з найбільших у світі підземних сховищ газу (Вуль та ін., 1998).

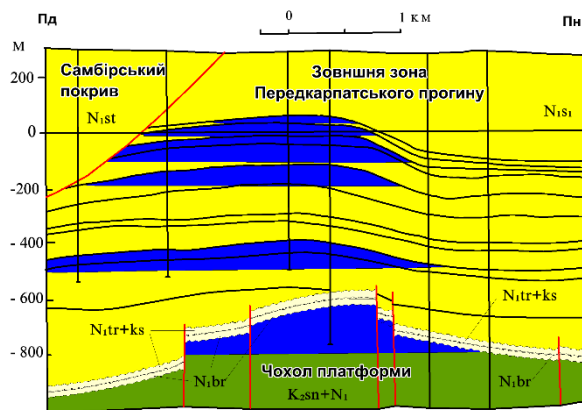


Рис. 4. Розріз Угерського газового родовища (Вуль та ін., 1998)

K_2+N_1 – верхньокрейдові та частково неогенові відклади; неогенові світи: N_{1br} – богородчанська, N_{1tr+ks} – тираська та косівська, N_{1st} – стебницька; N_{1s} – відклади сарматського ярусу. Синім показано продуктивні товщі

Далі рухаємось долиною р. Стрий до південного заходу. Поблизу м. Стрий пересікаємо фронт Самбірського покриву – насуп дислокованих молас Внутрішньої зони прогину на недислоковані моласи Зовнішньої зони. Насуп перекритий четвертинними алювіальними відкладами і геоморфологічно не виражений.

Пройдимо м. Стрий – центр району, вузол залізничних та автомобільних шляхів. Назва міста, ймовірно, походить від назви річки – сполучення "стр" в багатьох індоєвропейських мовах означає швидкоплинну воду. Перші письмові згадки про Стрий датуються XIV ст. (Тронько, 1968).

У 12 км на південний захід від м. Стрий пересікаємо границю (також перекриту) між Самбірським та Бориславсько-Покутським покривами. Останній, складений як дислокованим крейдово-палеогеновим флішем, так і міоценовими моласами, на нашу думку, є передовим тектонічним елементом Зовнішніх Карпат (див. рис. 1, 2). Бориславсько-Покутський покрив у цьому районі практично весь зосереджений під насупом Скибового покриву і розкритий лише численними свердловинами. Він є основним резервуаром вуглеводнів, де зосереджені головні родовища нафти Карпатського регіону.

У 13 км від м. Стрий між селами Семигинів і Любенці перетинаємо поверхню насупу Берегової скиби (передової луски) Скибового покриву. Берегова скиба повністю перекрита алювієм р. Стрий. Через декілька кілометрів

у селищі Розгірче перетинаємо насуп наступної, більш внутрішньої луски Скибового покриву – Орівської скиби. Тут уже фронт насування виражений геоморфологічно, до нього приурочений невеликий передовий хребет Карпат. По суті, саме в селищі Розгірче розпочинаються Карпатські гори.

Далі рухаємось у напрямку селища Верхнє Синьовидне. Вдorzь траси розвинені флішові утворення передової частини Карпат, структуру якої показано на геологічній карті (див. рис. 2). Стратиграфічний розріз флішу Скибового покриву в районі маршруту зображено на рис. 5.

При виїзді з селища Нижнє Синьовиднє, на протилежному правому березі ріки при північній околиці села Тишівниця, спостерігаємо скелі, складені масивними ямненськими пісковиками (палеоцен). Вони нагадують башти старовинної фортеці, є туристичним об'єктом і відомі під назвою "Княжі скелі" (рис. 6, локалізацію див. рис. 2).

Між селами Нижнє і Верхнє Синьовидне у вигині р. Стрий поблизу залізничного тунелю відслонюються

масивні і товстощаруваті пісковики вигодської світи (еоцен), які тут залягають субгоризонтально (рис. 7). Вони подібні до ямненських і складені різнозернистими суттєво кварцевими пісковиками з прошарками і лінзами гравелітів і мікроконгломератів. Окремі шари досягають потужності декількох метрів. Пісковики характеризуються масивними гомогенними текстурами, менш потужним пластам притаманні елементи Боума T_{ab} , T_{abc} , що свідчить про їх відкладення зерновими і високогустинними турбідитними потоками.

За мостом через р. Опір (права притока р. Стрий) починається селище Верхнє Синьовидне, розміщене в котловині на терасі Опору. З селища добре видно крутий правий берег Опору, де в скелястих обривах відслонюється майже суцільний розріз еоцену – олігоцену Орівської скиби: еоценові пісковики вигодської (рис. 7) та мергелі польовської світ (рис. 8), і олігоцені чорні сланці менілової світи.

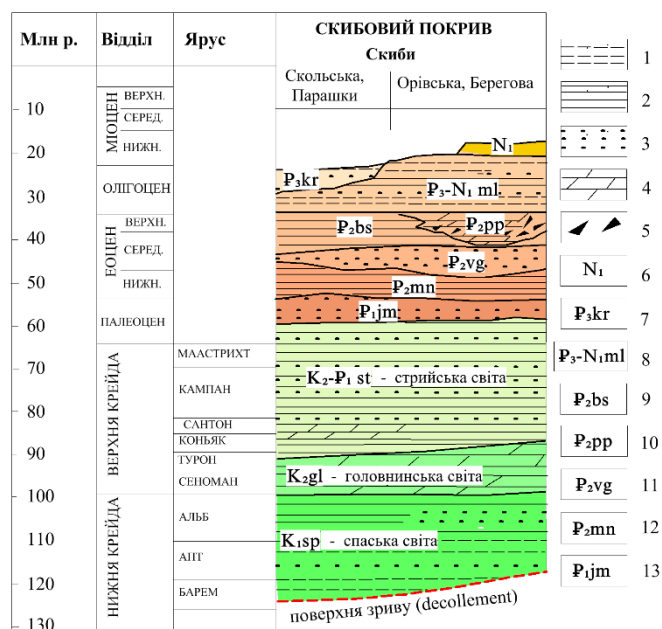


Рис. 5. Літостратиграфія відкладів Скибового покриву в Сколівських Бескидах.

Цифрами позначено: 1 – темні до чорних збагачені органікою аргіліти геміпелагічного походження;

2 – тонко-середньоритмічний фліш: продукти турбідитних потоків та фонові геміпелагічної седиментації;

3 – піщаний фліш; відклади високоуглинистих турбідитних та зернових потоків; 4 – мергелісти переважно геміпелігічні відклади; 5 – конглобрекції; продукти мулисто-уламкових потоків; 7 – мілководні моласові відклади; 7-13 – світи: 7 – кросненська, 8 – менілітова, 9 – бистрицька, 10 – попельська, 11 – вигодська, 12 – манявська, 13 – ямненська



Рис. 6. Княжі скелі – пісковики ямненської світи (палеоцен). Околиці с. Нижнє Синьовидне



Рис. 7. Відклади високогустинних турбідитних та зернових потоків (еоцен, пісковики вигодської світи). Правий берег р. Опір, околиці Верхнього Синьовидного



Рис. 8. Мергелисті відклади попелівської світи (еоцен) з підводно-осувними утвореннями. Правий берег р. Опір, селище Верхнє Синьовидне

Пункт спостереження 4. Окремі відслонення попелівської (еоцен) та менілітової (олігоцен) світи спостерігаємо на лівому пологому березі Опору в селищі Верхнє Синьовидне біля лабораторії геолого-екологічних досліджень Львівського національного університету ім. Івана Франка. Попелівська світа – це світло-сірі тонко- і середньощаруваті, неясношаруваті мергелі і вапняки. Для відкладів характерні підводно-осувні текстури – дрібна дисгармонійна складчастість. Окремі шари мають внутрішню хаотичну текстуру і складені вапняково-мергелистою ненасиченою конглобрекцією з обкатаними та необкатаними невідсортованими уламками (розміром до перших сантиметрів і дециметрів) пелітоморфних вапняків та "екзотичних" порід – зелених слабометаморфізованих сланців і філітів, вірогідно знесених з Лежайського масиву Західноєвропейської платформи (окраїни Євразійського континенту). Це типові утворення мулисто-уламкових потоків (debris-flow) (рис. 9). Текстурно-структурні ознаки свідчать, що попелівська літофація, ймовірно, була сформована в зоні континентального схилу.

Аналіз мікрофауни попелівської світи в стратотиповому розрізі по р. Тисмениця (м. Борислав) свідчить про батиальні нормально-морські умови накопичення відкладів світи нижче або близько рівня кальцитової компенсації (англ. CCD), куди гравітаційними мулисто-уламковими потоками переносилась мілководна фауна. Верхи попелівської світи (так звані глобігерінові мергелі з численними планктонними форамініферами) накопичувались уже вище CCD (Андрєєва-Григорівич та ін., 2019).

Проходимо маршрутом по лівому березі Опору вгору за течією в бік підвісного мосту. По ходу спостерігаємо окремі виходи попелівської світи, суцільний розріз яких видно на крутих схилах протилежного правого берегу ріки (див. рис. 8).

Дещо нижче підвісного мосту через Опір, серед руслового алювію відслонюються чорні і світло-сірі, переважно тонкошаруваті кремені та світло-сірі кременисті мергелі геміпелагічного походження. Це так званий кремнієвий або роговиковий горизонт-маркер, розташований у нижній частині менілітової світи. У відслоненні спостерігаємо ізоклинальну складку із

субгоризонтальним шарніром, яка налягає на шар не-насичених седиментаційних брекчій – відкладів мулисто-уламкового потоку (англ. debris-flow deposits) з уламками цих же порід менілітової світи. Таке налягання свідчить про конседиментаційне формування складки при її сповзанні разом з мулисто-уламковим потоком. Слабколітифіковані геміпелагічні глинисто-кременисті седименти, накопичені "частинкою за

частинкою", осувались по підводному схилу. Підводно-осувні утворення широко розвинені в олігоцені Карпат і можуть бути пов'язані зі зливом флішової товщі із седиментаційної основи та початком її насування в бік Євразії (платформи). Горизонтальна складова насувних рухів фіксувалась обмілінням басейну в олігоцені (Гнилко, 2012; Пономарьова, 2011).



Рис. 9. Відклади підводно-схлизових мулисто-уламкових потоків – розсіяні включення темних філітів у світлому мергелистому матриці (еоцен, попелівська світа). Лівий берег р. Опір, селище Верхнє Синьовидне

У 50 м вище підвісного мосту виходять на поверхню чорні листуваті збагачені органікою менілітові сланцюваті аргіліти (так звані менілітові сланці) з окремими малопотужними (до 10–20 см) прошарками світло-сірих і темних поліміктових дрібнозернистих пісковиків. Розріз менілітової світи добре видно на протилежному правому крутому березі Опору, куди можна перейти по підвісному мосту.

Необхідно зазначити, що менілітові сланці вважаються головною нафтогенеруючою товщею Карпат (Picha, Golonka, 2005). Їх накопичення пов'язується із закриттям на рубежі еоцену-олігоцену океанічного басейну в районі майбутніх Альп (колізія фрагменту Гондвани з Євразією) та перекриттям океанічного проходу між Світовим океаном та Карпатським флішовим басейном. Останній перетворився в один із сегментів Паратетису – системи ізольованих та напівізольованих басейнів. У результаті, циркуляція придонних збагачених киснем течій значно послабилась або і припинилась, що призвело до дефіциту кисню в придонних і мулових водах. Це сприяло ефективному захороненню органічної речовини в осадах і нагромадженню темних збагачених органікою глинисто-кременистих менілітових відкладів (Picha, Golonka, 2005; Kováč et al 2016, 2017).

Від селища Верхнє Синьовидне рухаємось автомобільною дорогою вгору по долині р. Опір у напрямку м. Сколе. Сколе – центр адміністративного району. Перша письмова згадка про місто датується XIV ст., проте виникло воно, вірогідно, значно раніше. Про це свідчить народна легенда, яка розповідає, що на цьому місці в 1015 р. відбулась жорстока битва між синами київського князя Володимира Святославовича – Святополком і Святославом. Долина між горами була вкрита тілами вбитих і поранених, а жорстокий Святополк вигукнув: "сколіть всіх!". Військо Святослава було сколото. Долину між горами тому назвали Сколе. Вірогідність цієї легенди підтверджується і назвою селища Святослав, що є пригородом м. Сколе (Тронько, 1968).

Між селищем Верхнє Синьовидне та м. Сколе поблизу села Дубина пересікаєм насув Скольської скиби (поски Скибового покриву) на Орівську скибу. Насув чітко виражений у рельєфі – у південному напрямку видно високий хребет (на ньому – відома гора Ключ, див. рис. 2), складений верхньокрейдово-палеоценовим флішем Скольської скиби, насуненим до півночі на олігоцен Орівської скиби. Перед фронтом насуву виділяється полого антикліналь Побук, яку можна побачити прямо з автодороги. Антикліналь простежується за характером залягання палеогенових відкладів у крутих урвищах протилежного правого берега Опору.

За 2 км нижче від м. Сколе звертаєм з траси в потік Кам'янка – праву притоку Опору. Переїжджаємо через міст над Опором і піднімаємось автомобільною ґрунтовою дорогою вгору по потоку Кам'янка до водопаду.

Пункт спостереження 5. На мальовничому водоспаді (рис. 10) відслонюються сірі різнозернисті товстошаруваті (потужність окремих шарів до декількох метрів) палеоценові пісковики ямненської світи. Внутрішні текстури окремих пластів масивні і гомогенні, іноді характеризуються елементами Боума T_a , T_{ab} . Присутні домішки гравійного матеріалу з уламками кварцу, перевідкладеного флішу. В околицях водоспаду фіксуються також конгломерати з кластами "екзотичних" порід – зелених слабометаморфізованих сланців і філітів, вірогідно знесених з Лежайського масиву. Ямненські псаміти є продуктами високогустинних турбідитних (high-density turbidity currents) та зернових (grain-flows) потоків.

Піднімаємось ґрунтовою дорогою вгору по потоку Кам'янка і виїжджаємо з вузької гірської ущелини, сформованої завдяки фізичним властивостям міцних ямненських пісковиків, у розширену долину, утворену в полі розвитку більш м'якого еоценового флішу манявської світи.



Рис. 10. Водоспад Кам'янка на пісковиках ямненської світи (палеоцен). Потік Кам'янка, права притока р. Опір, неподалік м. Сколе

Пункт спостереження 6. У розширеній частині долини потоку Кам'янка, нижче села Кам'янка, в обриві лівого берегу долини виходить на поверхню еоценовий фліш нижньої частини манявської світи. Фліш представлений тонкоритмічним чергуванням зелених, червоних, сірих аргілітів та зеленувато-сірих алевролітів і дрібнозернистих суттєво кварцевих пісковикив. Середня потужність ритмів – менше 0,1 м, максимальна – до 0,2–0,3 м. Червоні і зелені аргіліти характеризуються паралельношаруватими текстурами і є літифікованими продуктами нормальної (гемі)пелагічної седиментації ("частинка за частинкою"). Флішовим ритмам притаманні текстури Боума T_{cde} , T_{de} . Вони утворені малопродуктивними низькогустинними турбідитними потоками (low-density turbidity currents). Деяким алевро-псамітовим прошаркам властива скісна шаруватість, що перетинає всю поверхню окремих пропластків, вірогідно вона сформована завдяки впливу придонних течій.

У (гемі)пелагічних червоних глинистих відкладах манявської світи Карпат виявлено дрібні форамініфери, які за рядом ознак свідчать про глибини палеобасейну нижче рівня карбонатної компенсації (англ. CCD) (Гнилко, Гнилко, 2010), який у Північній Атлантиці в еоцені знаходився на глибині приблизно 4000 м (Oszczypko et al., 2006).

Від цього відслонення спускаємось по потоку до автотраси Львів – Мукачеве – Чоп і повертаємось до м. Львів.

Дискусія та висновки. Під час маршруту ми знайомимось з палеоцен-еоценовим флішем північної частини океану Тетис та олігоцен-міоценовими відкладами залишкового напівізольованого басейну Паратетис. Останній виник при закритті океану та формуванні гірської споруди Карпат і Передкарпатського прогину. Відклади, представлені у відслоненнях, накопичувались у великому діапазоні глибин – на мілководді, континентальному схилі та глибоководді. Причому різноглибинні седиментаційні ділянки первинно існували на значній віддалі одна від одної, а пізніше зблизились при покривно-складчастих рухах і насуванні глибоководних океанічних утворень на окраїну Євразійського континенту.

У пунктах спостереження 1 та 2 спостерігаємо піскуваті утворення мілководного моря, ймовірно в районі розвитку давньої дельти, яке існувало в баденський час (~13–16 млн р. тому) на окраїні Євразійського континенту і було частиною Паратетису.

Пункт 3 – це Угерське родовище газу, розміщене в Зовнішній зоні Передкарпатського прогину у неогенових

моласах (також відкладах Паратетису) та крейдових псамітах (шельф Тетису) чохла Західноєвропейської платформи, опущеної в неогені перед насуваним фронтом орогену Карпат.

У пункті 4 відслонені літофації перехідної ланки між відкладами Тетису та Паратетису. Тетисні утворення тут складені попелеською світою (еоцен), яка накопичувалась в нормально-морських умовах на континентальному схилі. Відклади Паратетису представлені менілітовою світою (олігоцен) – основною нафтогенуючою товщею регіону, яка містить чорні збагачені органічним вуглецем глинисті відклади, накопичені в анаеробних умовах при ізоляції Карпатського басейну. Підводно-осувні утворення, які спостерігаються тут та загалом значно поширені в олігоцені Зовнішніх Карпат, є одним з індикаторів конседиментаційного підймання басейну і початку зростання Карпатського орогену.

У пунктах 5 і 6 спостерігаємо найбільш глибоководні утворення Тетису – продукти діяльності катастрофічних суспензійних (турбідитних) і подібних до них потоків. Це палеоценові товстошаруваті пісковики ямненської світи, нагромаджені високогустинними турбідитними і зерновими потоками, та еоценовий тонкоритмічний фліш манявської світи, відкладений низькогустинними турбідитними потоками, придонними течіями. Фонові (гемі)пелагічні відклади представлені червоними і зеленими аргілітами, які містять глибоководні аглютиновані бентосні форамініфери.

Отже, запропонований маршрут "вихідного дня" дозволяє ознайомитись з цілим комплексом відкладів окраїни океану Тетис та залишкового моря Паратетис, простежити деякі індикатори початку росту Карпатських гір, а також побачити основну нафтогенуючу товщу усієї Карпатської дуги.

Список використаних джерел

- Андреева-Григоревич, А.С., Гнилко, С.Р., Гнилко, О.М. (2019). Вік і умови утворення попелеської світи (Українські Карпати) за мікрофосиліями і седиментологічними особливостями у стратотиповому розрізі. *Матеріали міжнародної наукової конференції та XXXIX сесії Палеонтологічного товариства НАН України "Палеонтологічні дослідження Доно-Дніпровського прогину"*, Гладизьк, 14-16 травня 2019 р., Київ, 70–71.
- Бубняк, І., Солецькі, А. (Ред.) (2013). Геотуристичний путівник по шляху Гео-Карпати (Кросно-Борислав-Яремче). Кросно: Ruthenus.
- Ващенко, В., Турчинов, І., Генералова, Л. (2017). Геологічні ресурси туризму природного комплексу долини р. Кам'янка (Українські Карпати) – геопарк "Кам'янка". *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*, 31, 130–160.

Вуль М. Я., Гошовський С. В., Денег Б. І. та ін. (1998). Атлас родовищ нафти і газу України. Т. IV: Західний нафтогазоносний регіон. Львів: Центр Європи.

Вялов, О.С., Гавура, С.П., Даныш, В.В., Лемишко О.Д., Лешух, Р.Й., Пономарева, Л.Д., Романів, А.М., Смирнов, С.Е., Смолинская Н.И. Царненко, П.Н. (1988). Стратотипи мелових і палеогенових отложений Українських Карпат. Київ: Наук. думка.

Вялов, О.С., Гавура, С.П., Даныш, В.В., Лешух, Р.Й., Пономарева, Л.Д., Романів, А.М., Царненко, П.Н., Циж, І.Т. (1980). История геологического развития Украинских Карпат. Киев: Наук. думка.

Вялов, О.С., Даныш, В.В., Кульчицкий, Я.О. (Ред.) (1977). Путеводитель тектонической, стратиграфической и седиментологической экскурсий XI Конгресса Карпато-Балканской геологической ассоциации. Київ: Наукова думка.

Гнилко, О. (2010). Про седиментативні процеси формування флішових відкладів Українських Карпат. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*, 3, 32–37.

Гнилко, О. (2012). Тектонічне районування Карпат у світлі терейової тектоніки. Стаття 2. Флішові Карпати – давня акреція на призма. *Геодинаміка*, 1 (12), 67–78.

Гнилко, С., Гнилко, М. (2010). Ранняеоценові аглютиновані форамініфери і седиментологічні особливості формування флішу Монастирського та Скибового покривів Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1(150), 43–59.

Гнилко, О., Шевчук, В., Божук, Т., Богданова, М., Гнилко, С. (2019). Геологічні/геотуристичні об'єкти Закарпатської області як відображення геологічної історії Карпат. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4 (87), 6–13.

Гожик П.Ф. (Гол. ред.) (2013). Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т. 1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. Київ: ІГН НАН України. Логос.

Досин, Г.Д. (1963). Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Карпатская. М-34-XXX. Министерство геологии СССР.

Калінін, В.І., Гурський, Д.С. (Ред.) (2006). Геологічні пам'ятки України. У 4 т. Київ: Держ. геолог. служба України.

Колодій, В.В., Бойко, Г.Ю., Бойчевська Л.Е. та ін. (2004). Карпатська нафтогазоносна провінція. Львів–Київ: Український Видавничий центр.

Круглов, С.С., Смирнов, С.Е., Спитковская, С.М., Фильшинский, Л.Е., Хижняков, А.В. (1985). Геодинамика Карпат. Київ: Наукова думка.

Пилипчук, О. М. Ващенко, В. О., Турчинов, І. І. (2014). Щодо створення першого в Україні геопарку на базі національного природного парку "Сколівські Бескиди". *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 3–4, 236–262.

Пономарьова, Л., Гнилко, О., Братусь, Л., Гнилко, С., Кулянда, М., Лемишко, О., Марченко, Р. (2011). Відтворення умов осадоагромадження в Карпатському басейні на основі вивчення форамініфер та седиментологічних даних. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2, 142–143.

Рединг, Х. (Ред.) (1990). Обстановки осадконакопления и фации. Том 2. Пер. с англ. Москва: Мир.

Тронько, П.Т. (Ред.) (1968). Історія міст і сіл Української РСР. Том 14: Львівська область. Київ: Головна редакція Української Радянської енциклопедії АН УРСР.

Hnylko, O. (2014). Olistostromes in the Miocene salt-bearing folded deposits at the front of the Ukrainian Carpathian orogen. *Geological Quarterly*, 58, 3, 381–392. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1132>

Hnylko, S., Hnylko, O. (2016). Foraminiferal stratigraphy and palaeobathymetry of Paleocene–lowermost Oligocene deposits (Vezhany and Monastirets nappes, Ukrainian Carpathians). *Geological Quarterly*, 60 (1), 75–103. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1247>

Kováč, M., Márton, E., Oszyzypko, N., Vojtko, R., Hók, J., Králíková, S., Plašienka, D., Klučiar, T., Hudáčková, N., Oszyzypko-Clowes, M. (2017). Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 155, 133–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.004>

Kováč, M., Plašienka, D., Ján Soták, J., Vojtko, R., Oszyzypko, N., Less, G., Čosović, V., Fügenschuh, B., Králíková, S. (2016). Paleogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 140, 9–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.007>

Oszyzypko, N., Uchman, A., Malata E. (Eds.) (2006). Rozwój paleotektoniczny basenów Karpat zewnętrznych i pienińskiego pasa skałkowego. Kraków : Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński.

Picha, F.J., Golonka, J. (Eds.) (2005). Carpathian and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. Tulsa, Oklahoma, U.S.A: AAPG Memory, 84.

Waśkowska, A., Hnylko, S., Bakayeva, S., Golonka, J., Słomka, T., Heneralova, L. (2019). Rocky forms in the Yamna Sandstone (Skyba Nappe, Outer Carpathians, Ukraine). *Geotourism*, 1–2, 56–57. DOI: [10.7494/geotour.2019.56-57.3](https://doi.org/10.7494/geotour.2019.56-57.3)

References

Andryeyeva-Grygorovych, A.S., Hnylko, S.R., Hnylko, O.M. (2019). Age and conditions of the formation of the Popiele Formation (Ukrainian Carpathians) by microfossils and sedimentological features in the stratotype section. *materials of International scientific conference and XXXIX session of the Paleontological Society NAS of Ukraine "Paleontological investigation of Don-Dnieper downwarp", Hradyzk, May 14–16, 2019*, Kyiv, 70–71. [In Ukrainian]

Bubnjak, I., Soletskii, A. (Eds.) (2013). Geo-tourist guide on the way of Geo-Carpathians (Krosno-Borislav-Yaremche). Krosno: Ruthenus. [In Ukrainian]

Dosin, G.D. (1963). Geological map of the USSR. Scale 1: 200 000. Carpathian series. M-34-XXX. Ministry of Geology of the USSR. [In Russian]

Gozhyk P.F. (Ed.) (2013). Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Vol. 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Kyiv: IGS NAS of Ukraine. Logos. [In Ukrainian]

Hnylko, O.M. (2012). Tectonic zoning of the Carpathians in term's of the terrane tectonics Article 2. The Flysch Carpathian – ancient accretionary prism. *Geodynamics*, 14, 61–68. [In Ukrainian]

Hnylko, O. (2014). Olistostromes in the Miocene salt-bearing folded deposits at the front of the Ukrainian Carpathian orogen. *Geological Quarterly*, 58, 3, 381–392. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1132>

Hnylko, O., Shevchuk, V., Bozhuk, T., Bogdanova, M., Hnylko, S. (2019). Geological/geotourist objects of the Transcarpathian region as a reflection of the geological history of the Carpathians. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (87), 6–13. [In Ukrainian]

Hnylko, O.M. (2010). On the sedimentary processes of forming the flysch deposits of the Ukrainian Carpathians. *Collection of scientific works of the IGS NAS of Ukraine*, 3, 32–37. [In Ukrainian]

Hnylko, S., Hnylko, O. (2016). Foraminiferal stratigraphy and palaeobathymetry of Paleocene–lowermost Oligocene deposits (Vezhany and Monastirets nappes, Ukrainian Carpathians). *Geological Quarterly*, 60 (1), 75–103. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1247>

Hnylko, S.R., Hnylko, O.M. (2010). Early Eocene agglutinated foraminifers and sedimentological features of the flysch from Monastirets and Skyba nappes of the Ukrainian Carpathians. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 150, 43–59. [In Ukrainian]

Kalinin, V.I., Gursky, D.S. (Eds.) (2006). Geological Landmarks of Ukraine. 4 Vs. Kyiv: State Geological Survey of Ukraine. [In Ukrainian]

Kolodiy, V.V., Boyko, G.Yu., Boychevskaya, L.E. et al. (2004). Carpathian oil and gas province. Lviv - Kyiv: Ukrainian Publishing Center. [In Ukrainian]

Kováč, M., Márton, E., Oszyzypko, N., Vojtko, R., Hók, J., Králíková, S., Plašienka, D., Klučiar, T., Hudáčková, N., Oszyzypko-Clowes, M. (2017). Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 155, 133–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.004>

Kováč, M., Plašienka, D., Ján Soták, J., Vojtko, R., Oszyzypko, N., Less, G., Čosović, V., Fügenschuh, B., Králíková, S. (2016). Paleogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 140, 9–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.007>

Kruglov, S.S., Sмирнов, S.E., Spitkovskaya, S.M., Filshinsky, L.E., Khizhnyakov, A.V. (1985). Geodynamics of the Carpathians. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian]

Oszyzypko, N., Uchman, A., Malata E. (Eds.) (2006). Rozwój paleotektoniczny basenów Karpat zewnętrznych i pienińskiego pasa skałkowego. Kraków : Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński.

Picha, F.J., Golonka, J. (Eds.) (2005). Carpathian and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. Tulsa, Oklahoma, U.S.A: AAPG Memory, 84.

Ponomaryova, L., Hnylko, O., Bratus, L., Hnylko, S., Kulyanda, M., Lemishko, O., Marchenko, R. (2011). Reconstruction of sedimentary conditions in the Carpathian Basin based on the study of foraminifera and sedimentological data. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 1–2, 142–143. [In Ukrainian]

Pylipchuk, O.M., Vashchenko, V.O., Turchynov, I.I. (2014). The cretation of the first geopark in Ukraine on the basis of the national nature park "Skolivski Beskydy". *Collection of scientific works of the UkrDGRІ*, 3–4, 236–262. [In Ukrainian]

Reading, H. (Ed.) (1990). Sedimentary environment and facies. V. 2. Moscow: Mir. [In Russian]

Tronko, P.T. (Ed.) (1968). History of towns and villages of the Ukrainian SSR. Vol. 14: Lviv region. Kyiv: Main edition of the Ukrainian Soviet encyclopedia of the USSR Academy of Sciences.

Vashchenko, V., Turchynov, I., Heneralova, L. (2017). Geological resources of tourism of natural complex of dolina r. Kamyanka (Ukrainian Carpathians) – Geopark "Kamyanka". *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 31, 130–160. [In Ukrainian]

Vyalov, O.S., Gavura, S.P., Danysh, V.V., Lemishko, O.D., Leshchukh, R.J., Ponomaryova, L.D., Romaniv, A.M., Sмирнов, S.E., Smolinskaya, N.I., Tsarmenko, P.N. (1988). The stratotypes of the Cretaceous and Paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian]

Vyalov, O.S., Gavura, S.P., Danysh, V.V., Leshchukh, R.J., Ponomaryova, L.D., Romaniv, H.M., Tsarmenko, P.N., Tsizh, I.T. (1981). The History of the Geologic Development of the Ukrainian Carpathians. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian]

Vul, M.Ya., Goshovsky, S.V., Denega, B.I. et al (1998). Atlas of oil and gas fields of Ukraine. Vol. IV: Western oil and gas region. Lviv: Center of Europe. [In Ukrainian]

Vyalov, O.S., Danysh, V.V., Kulchitskiy, Ya.O. (Eds.) (1977). Guide to tectonic, stratigraphic and sedimentary excursions of the XI Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association. Kyiv: Nauk. dumka. [In Russian]

Waśkowska, A., Hnylko, S., Bakayeva, S., Golonka, J., Słomka, T., Heneralova, L. (2019). Rocky forms in the Yamna Sandstone (Skyba Nappe, Outer Carpathians, Ukraine). *Geotourism*, 1–2, 56–57. DOI: [10.7494/geotour.2019.56-57.3](https://doi.org/10.7494/geotour.2019.56-57.3)

Надійшла до редколегії 06.04.22

O. Hnylko, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: ohnilko@yahoo.com,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine,
3a Naukova Str, Lviv, 79060, Ukraine;
M. Bogdanova, Assist. Prof.,
E-mail: Milena_bogdanova@ukr.net,
Lviv National University of Ivan Franko,
4 Grushevskogo Str., Lviv 79000, Ukraine;
T. Bozhuk, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.,
E-mail: tbozhuk@gmail.com,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk national pedagogical university,
2 Kryvonosa Str., Ternopil, 46027, Ukraine

COMPLEX CHARACTERISTICS OF GEOLOGICAL/GEOTOURISTIC OBJECTS OF THE SKOLE BESKYDS AS INDICATORS OF TECTONIC-SEDIMENTARY PROCESSES IN THE OUTER CARPATHIANS

A description of the geological/geotouristic "weekend" excursion from Lviv to the nearest part of the Carpathians is presented with an overview of the exposed deposits of the Western European platform and the Skole Beskyds on the route Lviv - Mykolaiv - Verkhnye Synyovydne - Kamyanka - Lviv. A comprehensive outline of the geological position of the route area is given. The main geological objects and observation points (stops) along the route are described. The proposed route will allow you to get acquainted with the whole complex of the sediments on both the Tethys Paleocene margin and the ancient Paratethys Sea, to trace some indicators of the beginning of growth of the Carpathian Mountains, as well as to see the main oil-generating strata of the entire Carpathian arc. In observation points 1 and 2 near Mykolayiv, we observe Miocene shallow-water sandy formations of Paratethys. Point 3 is the Uhersk gas field located in the Carpathian Foredeep. In point 4 (Verkhnye Synyovydne) the lithofacies of the transition link between the Tethys and Paratetyts deposits are exposed, and the Paratetyts deposits here are expressed by the Menilite Formation (Oligocene) - the main oil-generating stratum of the Carpathians. In points 5 and 6 (Kamyanka Stream) we observe the deepest-water sedimentary formations of the Outer Carpathian segment of the Tethys – the products of catastrophic (including turbidite) currents and background (hemi)pelagic sedimentation.

Keywords: *Ukrainian Outer Carpathians, Skole Beskyds, turbidites, geological excursion.*

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.04>

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: ivan.onyshchuk@knu.ua;

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 ТЕРИГЕННИХ ПОРІД КЕМБРІЮ
СХІДНОГО СХИЛУ ЛЬВІВСЬКОГО ПАЛЕОЗОЙСЬКОГО ПРОГИНУ***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)*

Висвітлено результати дослідження фільтраційно-ємнісних властивостей ущільнених теригенних порід-колекторів кембрію перспективних ділянок східного схилу Львівського палеозойського прогину. Мета досліджень полягала у вивченні петрофізичних параметрів ущільнених порід-колекторів як основи комплексного аналізу їх фізичних властивостей. Дослідженню підлягали такі фільтраційно-ємнісні характеристики зразків порід: коефіцієнт відкритої та ефективно пористості, коефіцієнт проникності та коефіцієнт залишкового водонасичення. Наведено межі змін та середні значення фільтраційно-ємнісних параметрів досліджених порід, а також класифікацію їх колекторських властивостей. Виконано оцінку структури пустотного простору порід на основі капілярOMETРИЧНИХ досліджень способом центрифугування.

За допомогою кореляційного аналізу встановлено ряд кореляційних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами досліджених порід – густиною, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом ефективно пористості та коефіцієнтом залишкового водонасичення, а також між коефіцієнтами пористості, визначеними в атмосферних та пластових умовах. Ці залежності можуть бути використані під час інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин та моделюванні фільтраційно-ємнісних параметрів ущільнених порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Ключові слова: алевроліти, пісковики, густина, коефіцієнти пористості, проникності та залишкового водонасичення, фільтраційно-ємнісні параметри, кореляційні залежності.

Постановка проблеми. Поклади вуглеводнів в ущільнених колекторах займають особливе місце серед нетрадиційних джерел видобутку нафти та газу. Вони представлені слабкопроникними, низькопористими гірськими породами (Михайлов та ін., 2014а, б, 2015, 2018). Наявність нетрадиційних покладів вуглеводнів (газ ущільнених порід, сланцевий газ тощо) встановлено в багатьох регіонах світу, в тому числі на Волино-Поділлі (Україна). Запаси вуглеводнів в ущільнених породах можуть у разі перевищувати ресурси традиційного типу (Михайлов та ін., 2014б, 2018). Ущільнені породи в низці регіонів містять значну кількість органіки і можуть слугувати як материнськими породами, так і колекторами газу. Новітні технології видобутку газу на основі гідророзриву пласта змінюють ставлення до цих відкладів. З багатих органікою ущільнених порід можна добувати газ у великих обсягах і з економічно прийнятною за нинішніх умов собівартістю.

Ущільнені колектори за цілою низкою ознак відрізняються від порід традиційних родовищ нафти та газу. Для ущільнених колекторів характерно регіональне поширення. Значні поклади газу характерні для центральних, найбільш занурених частин нафтогазових басейнів ("газ центральнобасейнового типу").

Під час вивчення ущільнених колекторів важливу роль відіграють геофізичні та петрофізичні дослідження, а також математичне моделювання, на основі яких визначаються напрямки горизонтального стовбура свердловини і параметри гідророзриву пласта.

У статті досліджено фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених порід, представлених низькопористими пісковиками і алевролітами кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину. Характеристика

петрофізичних властивостей цих порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів, що обумовлює актуальність їх петрофізичного вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України присвячена низка публікацій (Вижва та ін., 2012-2014, 2016-2021; Vyzhva et al., 2017, 2019; Карпенко та ін., 2014, 2015; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014а, б, 2015, 2018; Нестеренко, 2010; Орлюк та ін., 2001, 2011, 2013, 2018; Orlyuk et al., 2018а, б; Рубалка та Карпенко, 2016; Соболь та Карпенко, 2021; Старостенко та Русаков, 2015; Федоришин, 2018 та ін.) та багатьох інших авторів. Петрофізичні параметри порід мають важливе значення для оцінки їх колекторських властивостей за даними свердловинних електрометричних та акустичних досліджень, тому їх лабораторним дослідженням приділяється значна увага. При цьому 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 їх результатів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сучасному етапі проблема пошуків та вивчення нетрадиційних джерел вуглеводнів на території України є надзвичайно актуальною, зважаючи на ситуацію з енергоносіями у світі. Тому вивчення петрофізичних властивостей гірських порід з метою оцінки перспективності геологічних структур та комплексів на

© Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О., 2022

вуглеводні має важливе значення. Як вже зазначалося, петрофізичні властивості порід необхідні при інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень свердловин, а також при оцінці параметрів гідророзриву пласта.

Незважаючи на значну кількість відповідних публікацій, для ущільнених порід практично відсутні дані їх лабораторних фільтраційно-ємнісних досліджень та кореляційних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами для конкретних площ і утворень. Слід відзначити, що петрофізичні дослідження до недавнього часу були спрямовані переважно на вивчення порід-колекторів традиційних джерел вуглеводнів і на даному етапі петрофізичні параметри ущільнених порід слабо вивчені або не вивчені.

Мета досліджень. Метою даних досліджень була оцінка петрофізичних параметрів ущільнених теригенних порід-колекторів кембрію перспективних ділянок східного схилу Львівського палеозойського прогину як основи комплексного аналізу їх фізичних властивостей.

Встановлено, що кореляційні зв'язки між ємнісно-фільтраційними параметрами і даними свердловинних та польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Комплекс лабораторних петрофізичних досліджень – основа для визначення цих зв'язків. Отримані в результаті лабораторних досліджень дані про зміни густини порід, їх питомого електричного опору, швидкості поширення пружних хвиль у них та їх кореляційні зв'язки із фільтраційно-ємнісними параметрами використовуються для інтерпретації результатів електрометричних і акустичних методів досліджень свердловин, польової електророзвідки і сейсморозвідки.

Експериментальні петрофізичні дослідження. У НДЛ Теоретичної і прикладної геофізики ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка виконано комплекс петрофізичних досліджень, що включав визначення: густини порід; відкритої та ефективної пористості; структури капілярного простору; проникності; питомого електричного опору; швидкості пружних хвиль в атмосферних і пластових умовах. Усі лабораторні дослідження виконувались відповідно до чинних нормативних документів.

У статті наведено результати комплексних досліджень петрофізичних властивостей колекції із 80 зразків ущільнених порід кембрію – пісковиків (67 зразків) і алевролітів (13 зразків) східного схилу Львівського палеозойського прогину, площі: Бучачська (інтервал глибин 1453–1811 м); Володимирська (інтервал глибин 2189–2525 м); Добровірська (інтервал глибин 3236–3702 м); Лудинська (інтервал глибин 2760–3110 м); Ліщинська (інтервал глибин 3003–3222 м); Сокальська (інтервал глибин 2525–2609 м); Сушнівська (інтервал глибин 2408–2562 м). Досліджені породи представлені пісковиками тонкозернистими, дрібнозернистими і середньозернистими, сірими та світло-сірими, а також алевролітами сірими.

Методика петрофізичних досліджень. Об'ємна густина досліджених порід у сухому стані визначалась шляхом зважування та вимірювання геометричних розмірів спеціальних лабораторних зразків циліндричної форми, а в насиченому стані (насичувалися моделлю пластової води – розчином NaCl) застосовувався метод гідростатичного зважування за стандартною методикою попередньо насичених зразків (Дортман, 1992 а, б; Інструкція ..., 1977; Туаб и Доналдсон, 2009). Для визначення ваги зразків використовувались цифрові аналітичні ваги WPS 360/c/2 (точність $\pm 0,001$ г).

Коефіцієнт відкритої пористості визначався газоволюметричним способом та методом гідростатичного зважування згідно зі стандартною методикою. Середня відносна похибка визначень коефіцієнта пористості складала 1,2 %.

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

Для встановлення кореляційних зв'язків між ємнісними, електричними та акустичними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконаний комплекс петрофізичних досліджень із фізичним моделюванням пластових умов (температура $t=60-100^{\circ}\text{C}$; ефективний тиск $p_{\text{еф}}=26-45$ МПа; мінералізація $M=90-120$ г/л).

Аналіз даних лабораторних досліджень. У статті висвітлено результати виконаних комплексних лабораторних досліджень, визначено петрофізичні параметри ущільнених порід центрального грабену ДДЗ. Відомості про межі змін та середні значення петрофізичних параметрів порід, залежно від їх літології, наведено у відповідних таблицях.

Густина. За результатами лабораторних визначень густини встановлено, що цей параметр для сухих порід змінюється: алевролітів від 2506 кг/м^3 (перешаровування алевроліту та аргіліту) до 2750 кг/м^3 (алевроліт сірий) за середнього значення 2629 кг/м^3 , а пісковиків – від 2336 кг/м^3 (пісковик світло-сірий) до 2656 кг/м^3 (пісковик тонкозернистий, темно-сірий), за середнього значення 2524 кг/м^3 . Густина порід, насичених моделлю пластової води, варіює в межах: алевролітів – від 2516 до 2754 кг/м^3 за середнього значення 2648 кг/м^3 , а пісковиків – від 2456 до 2670 кг/м^3 за середнього значення 2573 кг/м^3 . Уявна мінералогічна густина алевролітів змінюється від 2623 до 2760 кг/м^3 за середнього значення 2685 кг/м^3 , а пісковиків – від 2605 до 2706 кг/м^3 за середнього значення 2650 кг/м^3 . Широкі межі зміни густини свідчать про мінливість як літологічного складу досліджених порід, так і власне їх 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.	2506	2516	2623
	макс.	2750	2754	2760
	сер.	2629	2648	2685
Пісковики	мін.	2336	2456	2605
	макс.	2656	2670	2706
	сер.	2524	2573	2650

Пористість. Властивість породи вміщувати флюїди (нафту, газ і воду) називається пористістю. Пористість породи – важливий параметр, який визначає ємність колектора. Виділяють загальну, відкриту та ефективну пористість (Дортман, 1992 а, б; Інструкція ..., 1977; Тиаб и Доналдсон, 2009). Коефіцієнт пористості – один із головних параметрів, що характеризує пустотний простір породи. Цей параметр породи для кожного типу флюїду визначає його об'єм. Окрім того, важливими властивостями порід-колекторів є структура їх пустотного простору та вміст залишкової води (залежно від капілярного тиску), а також звивистість порових каналів.

Лабораторні визначення цих параметрів дозволяють отримати інформацію про катагенетичні і діагенетичні процеси та про механізми, які діяли під час транспортування й відкладення осадового матеріалу, ущільнення й деформації осаdkів (Тиаб и Доналдсон, 2009). За структурою породи візуально на якісному рівні оцінюється ступінь її пористості.

Слід відзначити, що ущільнені породи характеризуються зниженими значеннями пористості, в тому числі і досліджені у даній статті. Відомості про межі змін та середні значення коефіцієнта пористості порід залежно від їх виду наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Межі змін і середні значення ємнісних параметрів порід					
Порода	Значення параметра	Коефіцієнт відкритої пористості, k_n		Коефіцієнт ефективної пористості, k_n	Коефіцієнт пористості в пласт. ум., $k_{n,пл}$
		насич. азотом	насич. NaCl		
Алевроліти	мін.	0,009	0,004	0,001	0,003
	макс.	0,047	0,038	0,014	0,035
	сер.	0,024	0,019	0,005	0,016
Пісковики	мін.	0,014	0,013	0,001	0,008
	макс.	0,103	0,096	0,015	0,091
	сер.	0,056	0,047	0,007	0,043

Значення коефіцієнта відкритої пористості порід, визначеного газоволюметричним способом, змінюються: для алевролітів від 0,009 до 0,047 за його середнього значення 0,024, а для пісковиків – від 0,014 до 0,103 за його середнього значення 0,056. Коефіцієнт відкритої пористості порід, визначений насиченням моделлю пластової води (розчином NaCl), змінюється: для алевролітів від 0,004 до 0,038 за його середнього значення 0,019, а для пісковиків – від 0,013 до 0,096 за його середнього значення 0,047.

За коефіцієнтом відкритої пористості (Дахнов, 1975) досліджені породи належать до IV–V класів колекторів (пористість від низької до дуже низької) за винятком окремих зразків із середньою пористістю (III клас), що викликані їх тріщинуватістю. Алевроліти належать до III класу колекторів (пористість середня, $k_n = 10\text{--}20\%$) – 7 % зразків та V класу (пористість дуже низька, $k_n < 5\%$) – 93 % зразків. Відповідно, пісковики належать до IV класу (пористість дуже низька, $k_n = 5\text{--}10\%$) – 39 % зразків та V класу (пористість дуже низька, $k_n < 5\%$) – 61 % зразків.

Аналіз лабораторних даних дозволив встановити кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості

досліджених порід, визначеними газоволюметричним способом і методом насичення розчином NaCl (модель пластової рідини), що описуються лінійними функціями:

$$k_{n,NaCl} = 0,8327 \cdot k_{n,гв} - 0,0023,$$

$$\text{при } R^2 = 0,975 \text{ – алевроліти;}$$

$$k_{n,NaCl} = 0,9228 \cdot k_{n,гв} - 0,0041,$$

$$\text{при } R^2 = 0,978 \text{ – пісковики,}$$

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

У результаті аналізу отриманих даних також встановлені кореляційні залежності між густиною досліджених порід (σ) та їх коефіцієнтом пористості ($k_{n,NaCl}$), які описуються лінійними функціями:

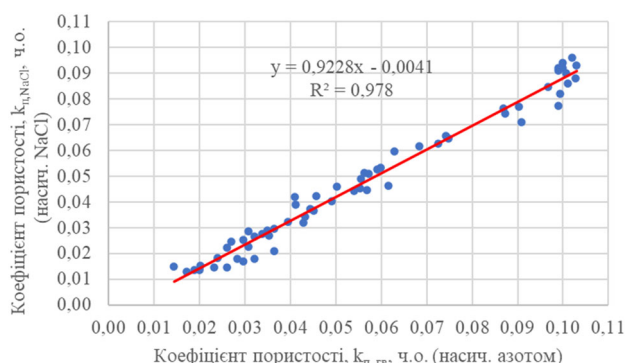
$$k_{n,NaCl} = -0,0001 \cdot \sigma + 0,3274,$$

$$\text{при } R^2 = 0,736 \text{ – алевроліти;}$$

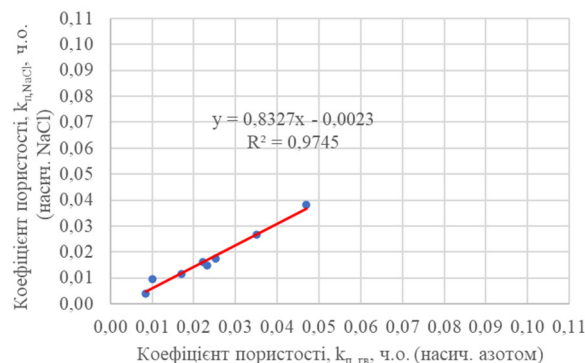
$$k_{n,NaCl} = -0,0004 \cdot \sigma + 1,1735,$$

$$\text{при } R^2 = 0,803 \text{ – пісковики.}$$

Графіки отриманих кореляційних залежностей наведено на рис. 2а (алевроліти) та 2б (пісковики).



а



б

Рис. 1. Залежність між коефіцієнтами відкритої пористості, визначеними газоволюметричним способом ($k_{n,гв}$) і методом насичення розчином NaCl ($k_{n,NaCl}$): а – алевроліти, б – пісковики

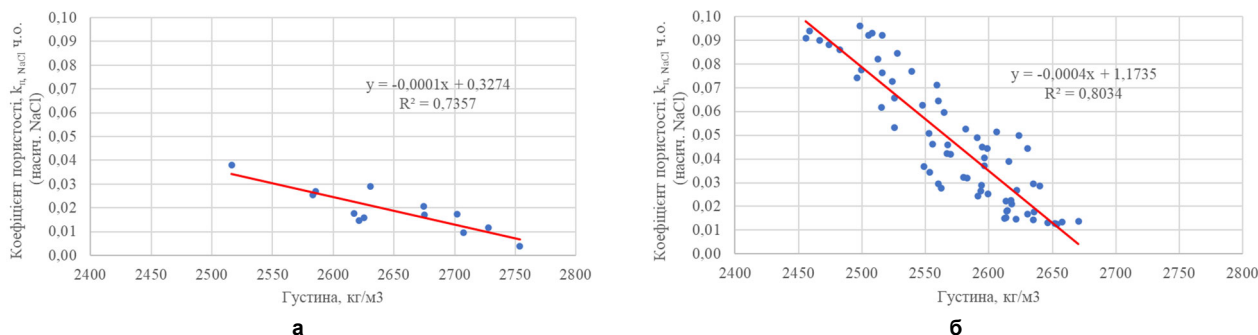


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відкритої пористості порід ($K_{p,NaCl}$), визначеного методом насичення розчином NaCl, від густини (σ): а – алевроліти, б – пісковики

Структура пустотного простору порід. Структура пустотного простору осадових порід значною мірою визначається формою й окатаністю зерен, їх розмірами, сортуванням, орієнтуванням і типом упаковки, а також хімічним складом (Дортман, 1992 а, б; Інструкція ..., 1977; Туаб и Доналдсон, 2009). Структура пустотного простору порід визначалась способом центрифугування їх зразків за допомогою центрифуги ОС-6М. Аналіз кривих капілярного тиску (ККТ), отриманих за

результатами центрифугування, дозволив визначити коефіцієнти залишкового водонасичення ($K_{зв}$) та структуру пустотного простору ущільнених порід. Відомості про структуру пустотного простору і коефіцієнти залишкового водонасичення наведено в табл. 3.

Для прикладу на рис. 3а (алевроліти), 3б (пісковики) наведено типові криві капілярного тиску досліджених порід з різними фільтраційно-ємнісними властивостями.

Таблиця 3

Межі змін і середні значення параметрів пустотного простору порід

Порода	Значення параметра	Вміст пор, %			Коефіцієнт залишкового водонасичення, $K_{зв}$
		надкапілярні	капілярні	субкапілярні	
Алевроліти	мін.	6	4	45	0,45
	макс.	23	46	87	0,87
	сер.	11	13	77	0,77
Пісковики	мін.	1	2	40	0,40
	макс.	38	48	98	0,98
	сер.	7	10	83	0,83

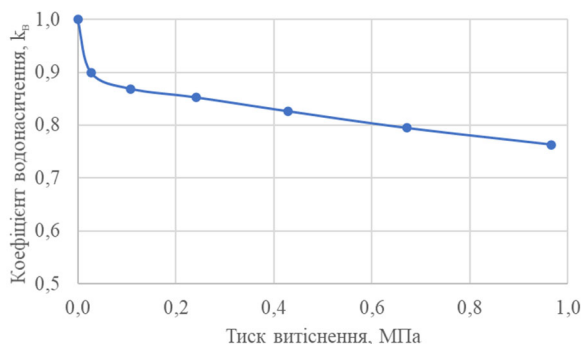
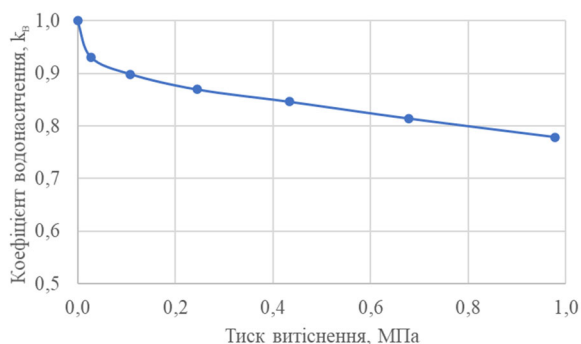


Рис. 3. Типова крива капілярного тиску: а – алевроліти, б – ущільнені пісковики

За допомогою аналізу кривих капілярного тиску (ККТ) встановлено, що коефіцієнт залишкового водонасичення ущільнених порід змінюється: для алевролітів від 0,45 до 0,87 за його середнього значення 0,77, а для пісковиків – від 0,40 до 0,98 за його середнього значення 0,93 (табл. 3). За коефіцієнтами залишкового водонасичення порід, згідно з класифікацією колекторів (Дахнов, 1975), розподіл досліджених зразків порід за класами їх колекторських властивостей такий. Алевроліти належать до IV класу (нафтогазонасичення низьке, $K_{зв} = 0,5-0,7$) – 12 % зразків та V класу (нафтогазонасичення дуже низьке, $K_{зв} > 0,7$) – 88 % зразків. Відповідно, пісковики належать до: III класу колекторів (нафтогазонасичення середнє, $K_{зв} = 0,3-0,5$) – 6 % зразків; IV класу (нафтогазонасичення низьке, $K_{зв} = 0,5-0,7$) – 11 % зразків та V класу (нафтогазонасичення дуже низьке, $K_{зв} > 0,7$) – 83 % зразків.

З використанням коефіцієнта залишкового водонасичення визначений коефіцієнт ефективної пористості (табл. 2), який змінюється для алевролітів від 0,001 до 0,014 за його середнього значення 0,005, а для пісковиків – від 0,001 до 0,015 за його середнього значення 0,007. Встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтом залишкового водонасичення ($K_{зв}$) і коефіцієнтом ефективної пористості порід ($K_{п,еф}$), які мають лінійний характер:

$$K_{п,еф} = -0,022 \cdot K_{зв} + 0,0231, \text{ при } R^2 = 0,846 \text{ – алевроліти;}$$

$$K_{п,еф} = -0,0238 \cdot K_{зв} + 0,0268, \text{ при } R^2 = 0,727 \text{ – пісковики.}$$

Графіки цих залежностей наведено на рис. 4а (алевроліти) та 4б (пісковики).

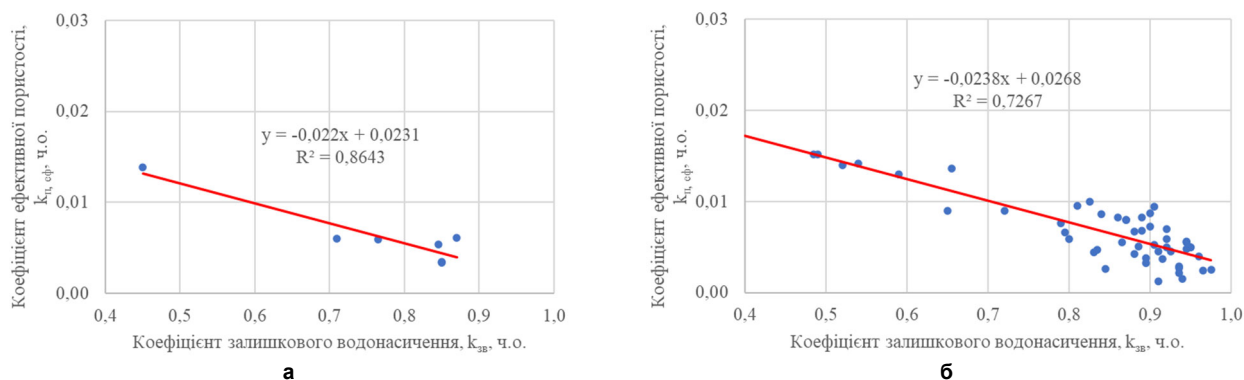


Рис. 4. Залежність коефіцієнта залишкового водонасичення ($k_{зв}$) від коефіцієнта ефективної пористості порід ($k_{эф}$): а – алевроліти, б – пісковики

За результатами капілярометричних досліджень виконано оцінку структури пустотного простору ущільнених порід за діаметром капілярів. Розподіл пустотного простору порід на субкапілярні (діаметр $<0,2$ мкм), капілярні (діаметр $0,2-3$ мкм) та надкапілярні (діаметр $3-100$ мкм) пори (Нестеренко, 2010) наведено в табл. 3. Слід відзначити, що субкапілярні пори участі у фільтрації флюїдів не беруть і зазвичай заповнені залишковою водою. Натомість флюїди, зосереджені у надкапілярних і капілярних порових каналах, можуть брати участь у фільтраційних процесах. У результаті лабораторних капілярометричних досліджень встановлено, що поровий простір досліджених порід має таку структуру: для пісковиків вміст надкапілярних пор змінюється від 1 % до 38 % за середнього значення 7 %; вміст капілярних пор – від 2 % до 48 % за середнього значення 10 %; вміст субкапілярних пор – від 40 % до 98 % за середнього значення 83 %; для алевролітів вміст надкапілярних пор змінюється від 6 % до 23 % за середнього значення 11 %; вміст капілярних пор – від 4 % до 46 % за середнього значення 13 %; вміст субкапілярних пор – від 45 % до 87 % за середнього значення 77 %.

Отже, за структурою пустотного простору досліджені ущільнені пісковики і алевроліти здебільшого мають

досить низькі фільтраційні властивості, за винятком окремих зразків із середніми фільтраційними параметрами.

Фізичне моделювання пластових умов виконано з використанням установки високого тиску ВСЦ-1000. Під час досліджень визначено коефіцієнт пористості порід у пластових умовах. Залежно від умов залягання порід при фізичному моделюванні пластових умов ефективний тиск $p_{эф}$ становив $26-45$ МПа, а температура t змінювалась в межах $60-100^\circ\text{C}$. У результаті аналізу даних лабораторних досліджень пористості порід у змодельованих пластових умовах встановлено, що цей параметр для алевролітів змінюється від $0,003$ до $0,035$ за середнього значення $0,016$, а для ущільнених пісковиків – від $0,008$ до $0,091$ за середнього значення $0,043$ (табл. 2). Також отримано кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості в атмосферних (k_n) і пластових ($k_{n,пл}$) умовах, аналітичні вирази яких представлені лінійними функціями:

$$k_{n,пл} = 0,9066 \cdot k_n - 0,0016, \text{ при } R^2 = 0,954 \text{ – алевроліти;}$$

$$k_{n,пл} = 0,9852 \cdot k_n - 0,003, \text{ при } R^2 = 0,995 \text{ – пісковики.}$$

Графіки цих залежностей мають лінійний вигляд і наведені на рис. 5а (алевроліти) та 5б (пісковики):

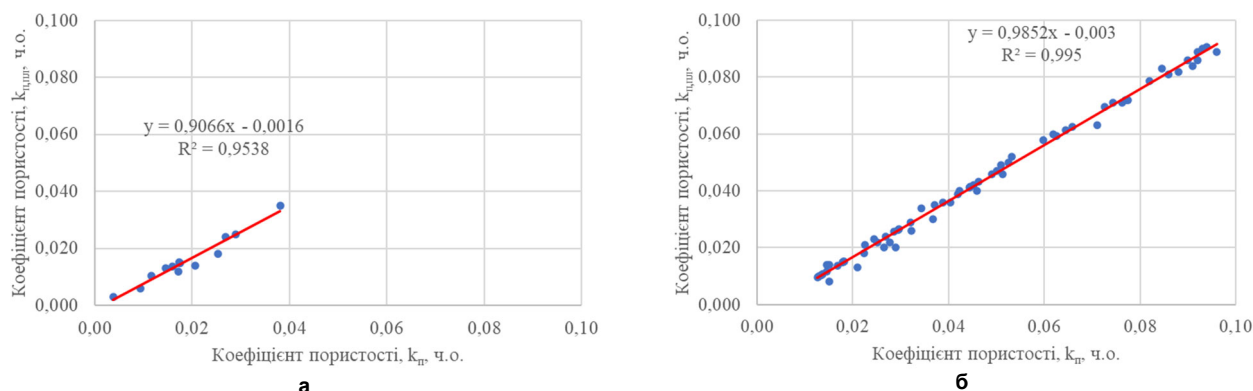


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтами пористості у атмосферних (k_n) і пластових ($k_{n,пл}$) умовах: а – алевроліти, б – пісковики

У результаті фізичного моделювання пластових умов відбувається закриття мікротріщин під навантаженням, що спричиняє зменшення пористості порід порівняно з їх пористістю в атмосферних умовах. Аналіз даних показує, що відносне зниження (ϵ) коефіцієнта пористості за зміни атмосферних умов на пластові ($\epsilon = (k_n - k_{n,пл}) / k_n \cdot 100\%$) сягає: для досліджених алевролітів від $8,1$ % до $21,3$ % за

середнього значення $13,3$ %, а для пісковиків – від $1,0$ % до $21,8$ % за середнього значення $8,9$ %.

Проникність – властивість гірських порід, що характеризує їх здатність пропускати флюїди, тобто швидкість руху флюїду і технологію видобутку. Проникність порід контролюється розміром зерен породи, їх формою та просторовим розподілом за розмірами, а також їхньою упаковкою, ступенем глинистості, консолідації й

цементациї. Зміни проникності можна прогнозувати, виходячи із змін розміру й форми частинок, а також розподілу пустотних каналів у породі. На проникність також спричиняє суттєвий вплив тип глинистого або іншого цементувального матеріалу між піщаними зернами, особливо у разі присутності води. Деякі глинисті мінерали, зокрема монтморилоніт і смектит, розбухають у воді і можуть частково або повністю закупорювати пустотний простір (Тиаб і Доналдсон, 2009; Порода..., 1985).

Здатність породи пропускати через себе флюїди характеризується коефіцієнтом проникності $k_{пр}$. У випадку, коли порода на 100 % насичена одним флюїдом (фазою), таким як газ, нафта або вода, маємо абсолютну проникність для даного флюїду. У разі присутності у 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. У процесі руху по пустотних каналах пластові флюїди взаємодіють між собою, гальмуючи один одного, тому сума ефективної проникності усіх трьох фаз завжди менша абсолютної проникності.

Згідно з літературними даними, проникність порід-колекторів нафти і газу змінюється в діапазоні від 0,1 до

1000 фм², інколи й більше. Клас колектора зумовлюється його проникністю, що поділяється на: дуже низьку – $k_{пр} < 1$ фм², низьку – $k_{пр} = 1-10$ фм², середню – $k_{пр} = 10-50$ фм², високу – $k_{пр} = 50-250$ фм² і дуже високу – $k_{пр} > 250$ фм² (Тиаб і Доналдсон, 2009). Порода, що мають проникність нижчу за 1 фм², вважаються ущільненими. Низька проникність властива алевролітам, аргілітам, ущільненим газоносним пісковикам та матриці вапняків. Промислова розробка газоносних ущільнених порід можлива шляхом застосування технологій інтенсифікації продуктивних товщ таких, як кислотна обробка та гідророзрив пласта. Ці заходи суттєво підвищують проникність ущільнених порід і дозволяють вести видобуток вуглеводнів із порід-колекторів, які раніше вважалися некондиційними.

Коефіцієнт проникності досліджених алевролітів і пісковиків визначався методом стаціонарної фільтрації азоту за допомогою спеціально розробленої установки (Порода..., 1985). Середня відносна похибка визначень коефіцієнта проникності становила 2,3 %. У таблиці 4 наведено межі змін і середні значення коефіцієнта проникності досліджених алевролітів і ущільнених пісковиків.

Таблиця 4

Межі змін і середні значення проникності порід		
Порода	Значення параметра	Коефіцієнт проникності $k_{пр}$, фм ²
Алевроліти	мін.	0,0001
	макс.	2,927
	сер.	0,545
Пісковики	мін.	0,002
	макс.	4,689
	сер.	0,191

Аналіз результатів лабораторних досліджень коефіцієнта проникності порід показав, що цей параметр змінюється: для аргілітів від 0,0001 фм² до 2,927 фм² за його середнього значення 0,545 фм², а для пісковиків від 0,002 фм² до 4,689 фм² за його середнього значення 0,191 фм². За класифікацією порід згідно з їх проникністю (Дахнов, 1975) досліджені породи належать до: IV класу колекторів (проникність низька, $k_{пр} = 1-10$ фм²) – 4 % зразків та V класу колекторів (проникність дуже низька, $k_{пр} < 1$ фм²) – 96 % зразків.

Висновки. Лабораторні дослідження петрофізичних властивостей низькопористих пісковиків і алевролітів є актуальними щодо оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ ущільнених колекторів. У статті висвітлено результати лабораторних досліджень колекторських властивостей ущільнених порід кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Виконано комплекс петрофізичних досліджень фільтраційно-ємнісних параметрів, а саме.

1. Визначено, що об'ємна густина сухих порід змінюється: алевролітів від 2506 до 2750 кг/м³ (середнє 2629 кг/м³); пісковиків – від 2336 до 2656 кг/м³ (середнє 2524 кг/м³). Порода, насичені моделлю пластової води, мають густину: алевроліти від 2516 до 2754 кг/м³ (середнє 2648 кг/м³); пісковики – від 2456 до 2670 кг/м³ (середнє 2573 кг/м³). Уявна мінералогічна густина алевролітів змінюється від 2623 до 2760 кг/м³ (середнє 2685 кг/м³), а пісковиків – від 2605 до 2706 кг/м³ (середнє 2650 кг/м³). Мінливість як літологічного складу досліджених порід, так і пористості спричиняє варіації їх густини.

2. Встановлено, що коефіцієнт пористості, визначений газоволюметричним способом, змінюється: для

алевролітів від 0,009 до 0,047 (середнє 0,024), а для пісковиків – від 0,014 до 0,103 (середнє 0,056). Методом гідростатичного зважування визначено, що коефіцієнт відкритої пористості змінюється: алевролітів від 0,004 до 0,038 (середнє 0,019); пісковиків – від 0,013 до 0,096 (середнє 0,047). За коефіцієнтом відкритої пористості досліджені породи належать до IV–V класів колекторів (пористість від низької до дуже низької) за винятком окремих зразків із середньою пористістю (III клас), що викликано їх тріщинуватістю. Коефіцієнт ефективної пористості порід змінюється: для алевролітів від 0,001 до 0,014 (середнє 0,005), для пісковиків – від 0,001 до 0,015 (середнє 0,007).

Коефіцієнт пористості порід у змодельованих пластових умовах змінюється: для алевролітів від 0,003 до 0,035 (середнє 0,016), а для ущільнених пісковиків – від 0,008 до 0,091 (середнє 0,043). Закриття мікротріщин під навантаженням у пластових умовах зумовило зменшення пористості порід порівняно з атмосферними умовами. При цьому відносне зниження коефіцієнта пористості порід змінюється: для алевролітів від 8,1 % до 21,3 % (середнє 13,3 %), а для пісковиків – від 1 % до 21,8 % (середнє 8,9 %).

3. Визначений коефіцієнт залишкового водонасичення змінюється: для алевролітів від 0,45 до 0,87 (середнє 0,77); для пісковиків – від 0,40 до 0,98 (середнє 0,93). За коефіцієнтом залишкового водонасичення досліджені породи належать до III–V класів колекторів (пористість від середньої до дуже низької).

4. Визначена шляхом капілярметричних досліджень методом центрифугування, структура капілярного простору досліджених порід така: для алевролітів вміст

надкапілярних пор змінюється від 6 % до 23 % (середнє 11 %); вміст капілярних пор – від 4 % до 46 % (середнє 13 %), вміст субкапілярних пор – від 45 % до 87 % (середнє 77 %); для пісковиків вміст надкапілярних пор змінюється від 1 % до 38 % (середнє 7 %); вміст капілярних пор – від 2 % до 48 % (середнє 10 %), вміст субкапілярних пор – від 40 % до 98 % (середнє 83 %). За структурою пустотного простору досліджені ущільнені пісковики і алевроліти здебільшого мають досить низькі фільтраційні властивості, за винятком окремих зразків із середніми фільтраційними параметрами.

5. У результаті лабораторних досліджень коефіцієнта проникності порід встановлено, що цей параметр змінюється: для аргілітів у межах від 0,0001 до 2,927 фм² (середнє 0,545 фм²), а для пісковиків – від 0,002 до 4,689 фм² (середнє 0,191 фм²). За значеннями коефіцієнта проникності досліджені породи в основному належать до IV–V класу колекторів (проникність від низької до дуже низької).

Отже, досліджені алевроліти і ущільнені пісковики мають переважно низькі і дуже низькі фільтраційно-ємнісні властивості, за винятком окремих зразків. Слід відзначити, що розробка таких колекторів неможлива без застосування методів інтенсифікації пласта.

За допомогою кореляційного аналізу встановлено ряд емпіричних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами досліджених порід – густиною, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом ефективною пористості та коефіцієнтом залишкового водонасичення, а також встановлено кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості, визначеними в атмосферних та пластових умовах. Ці залежності можуть бути використані при інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин та моделюванні фільтраційно-ємнісних параметрів ущільнених порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину.

Роботу виконано в рамках 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. (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., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В., Шабатура, О.В. (2021). Фільтраційно-ємнісні параметри ущільнених порід північної прибережної зони Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (94), 37–45. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04>.
- 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 газонафтоносного 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., 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, Д.І., Онищук, І.І. (2013). Петрофізичні параметри нетрадиційних порід-колекторів Південного нафтогазового регіону. *Геоінформатика*, 3 (47), 1–9.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2014). Електричні параметри порід-колекторів імпактних структур. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 65, 31–35.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2014). Петрофізичні параметри порід, перспективних на сланцевий газ (ділянки східного сектору Дніпровсько-Донецької западини). *Геофизический журнал*, 36, 1, 145–157.

Вижва, С.А., Онищук, Д.І., Онищук, В.І. (2012). Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 57, 13–16.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, І.І. (2017). Петрофізические 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. (1992а). Петрофизика. Справочник. Ч.1. М: Недра.

Дортман, Н.Б. (1992б). Петрофизика. Справочник. Ч.2. М: Недра.

ДСТУ 41-00032626-00-025-2000. (2001). Коефіцієнт залишкового водонасичення гірських порід. Методика виконання вимірювань методом центрифугування зразків. Київ: Мінекоресурсів України.

Карпенко, О., Башкіров, Г., Карпенко, І. (2014) Визначення вмісту органічної речовини в гірських породах за геофізичними даними. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (66), 71–76. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.66.12>.

Карпенко, О.М., Михайлов, В.А., Карпенко, І.О. (2015). До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (68), 49–54. [http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2015/N%201\(68\)/karpenko.pdf](http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2015/N%201(68)/karpenko.pdf).

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*, 2 (77), 99–105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13>

Михайлов, В.А., Вижва, С.А., Загнітко, В.М. та ін. (2014а). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Книга 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".

Михайлов, В.А., Карпенко, О.М., Огар, В.В. (2015) Нафта і газ сланцевих порід, ущільнених колекторів, метан вугільних басейнів. Навчальний посібник. Київ: "Ніка-Центр".

Михайлов, В.А., Куровець, І.М., Синьковський, Ю.Н. та ін. (2014б). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Південний нафтогазоносний регіон. Книга III. Київ: ВПЦ "Київський університет".

Нестеренко, М.Ю. (2010). Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів. Київ: УкрДГПІ.

Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2013). Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепро-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*, 35, 2, 127–136.

Орлюк, М.І. (2001). Магнітна модель земної кори Центральної депресії Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку з прогнозуванням її нафтогазоносності. *Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геофізики*. Київ: УкрДГПІ, 62–66.

Орлюк, М.І., Пашкевич, І.К. (2011). Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов. *Геофизический журнал*, 33, 6, 136–151.

Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2018). Прогноз шляхів проходження та місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегменту Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними. *Геофизический журнал*, 40, 2, 123–140. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893>

Рибалка, С., Карпенко, О. (2016). Коллекторские властивості теригенних порід на великих глибинах центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (72), 56–59. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.08>

Соболь, В., Карпенко, О. (2021). Нова модель проникності теригенних гранулярних колекторів на прикладі турнейських відкладів Яблунівського нафтогазоконденсатного родовища Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (92), 61–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09>.

Старостенко, В.І., Русаков, О.М. (2015) Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Киев: изд. "Галактика".

Тиаб, Д., Доналдсон, Э.Ч. (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. *Матеріали XVII Міжнародної наукової конференції "Геоінформатика: Теоретичні та прикладні аспекти", Київ, Україна.*

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

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

Vyzhva, S., Maslov, B., Onyshchuk, I., Kozionova, O. (2019). Hydraulic fracture crack propagation modeling in multi-component nonelastic geological media. *Матеріали XII Міжнародної наукової конференції "Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища", 12-15 листопада 2019, Київ, Україна.* <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903224>

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* Nr 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.). (1992b). Petrophysics. Handbook. Vol. 1. Moscow: Nedra. [in Russian]

Dortman, N. B. (Ed.). (1992a). Petrophysics. Handbook. 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. Kyiv: Ministry of Natural Resources of Ukraine. [in Ukrainian]

Karpenko, O., Bashkurov, G., Karpenko, I. (2014). Geophysical data: Estimating organic matter in rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(66), 71–76. DOI: 10.17721/1728-2713.66.12 [in Ukrainian]

Karpenko, O., Mykhailov, V., Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 68, 49–54. [http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2015/N%201\(68\)/karpenko.pdf](http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2015/N%201(68)/karpenko.pdf). [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., Karpenko, O.M., Ogar, V.V. (2015). Oil and gas of shale rocks and sealed collectors, methane of coal basins. Textbook. Kyiv: Nika-Centre. [in Ukrainian]

Mykhailov, V.A., Kurovets, I.M., Synkovskyy, Ju.N. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine: South oil and gas region. Book III. 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. (2018a). 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.* <http://doi.org/10.3997/2214-4609.201803178>.

Orlyuk, M.I. (2001). Magnetic model of the earth's crust of Central depression of Dnepr-onetsk depression in connection with prognostication of her oil-and-gas content. *The theoretical and applied problems of oil and gas geophysics*. Kyiv, 62–66. [in Ukrainian]

Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2013). Physical parameters of rocks sedimentary cover of the northwestern part of the Dnieper-Donets depression. *Geofizicheskij Zhurnal*, 35, 2, 127–136. [in Russian]

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

Orlyuk, M., Pashkevich, I. (2011). Magnetic characteristics and fault tectonics of the earth's crust of the Shebelinka group of gas fields as a component of the complex search criteria for hydrocarbons. *Geofizicheskij zhurnal*, 33, 6, 136–151. [in Russian]

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. *Geofizicheskij zhurnal*, 40, 2, 123–140. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.12893>. [in Ukrainian]

Rybalka S., Karpenko O. (2016). Central part of the Dnieper-Donets Basin: Reservoir properties of deep-laid terrigenous rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(72), 56–59. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.72.08>. [in Ukrainian]

Sobol, V., Karpenko, O. (2021). A new model of permeability of terrigenous granular reservoirs on the example of turney deposits of Yablunivske oil and gas condensate field of the Dnieper-Donets basin. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 61–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.09>. [in Ukrainian]

Starostenko, V.I., Rusakov, O.M. (2015). Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donetsk depression. Kyiv: Galaktika. [in Russian].

Tiab, D., Donaldson, E.C. (2009). Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport. 2th Edition. Moscow: Premium Engineering. [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., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., Onyshchuk, I. (2014). Reservoir Rocks in Impact Structures: Electrical Parameters. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 65, 31–35. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Maslov, B., Onyshchuk, I., Kozionova, O. (2019). Hydraulic fracture crack propagation modeling in multi-component nonelastic geological media. *XIII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", November 12-15, Kyiv, Ukraine.* <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903224>.

Vyzhva, S., Onyshchuk, D., Onyshchuk, V. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 57, 13–16. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Oliinyk, O., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Lower permian carbonate deposits reservoir parameters of western part of Hlynsko-Solohivska 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). *Geofizicheskij 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.

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2020). Electrical and acoustic parameters of lower permian carbonate rocks (western part of the Hlynsko-Solokhivskiy of gas-oil-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., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2021). Porosity and permeability properties of consolidated rocks of the northern near edge zone of the Dnieper-Donetsk depression. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (94), 37–45. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.04>. [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., Mykhailov, V.A., Onyshchuk, I.I. (2014). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-Donets depression promising for shale gas. *Geofizicheskij Zhurnal*, 36, 2, 145–157. [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Mykhailov, V.A., Onyshchuk, D.I., Onyshchuk, I.I. (2013). Petrophysical parameters of unconventional types of reservoir rocks from southern oil-and-gas region. *Geoinformatics*, 3 (47), 17–25. [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* Nr 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03

Надійшла до редколегії 03.05.22

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: s.vyzhva@knu.ua;
V. Onyshchuk, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: viktor.onyshchuk@knu.ua;
I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: ivan.onyshchuk@knu.ua;
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

RESERVOIR PROPERTIES OF CONSOLIDATED TERRIGENOUS ROCKS OF CAMBRIAN PERIOD OF THE EASTERN SLOPE OF THE LVIV PALEOZOIC DEPRESSION

The paper concerned the researches of porosity and permeability properties of consolidated terrigenous reservoir rocks of Cambrian period of the Eastern slope of the Lviv 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 have been studied. The article presents the limits of changes and the average values of porosity and permeability properties of rocks, and the classification of their reservoir properties. On the basis of capillarimetric research, an evaluation of the structure of the void space of rocks was made.

The correlation analysis has allowed to establish a series of empirical relationships between the reservoir parameters (density, porosity coefficient, effective porosity factor and residual water saturation factor) and, also, to determine correlation dependences between porosity coefficients measured in atmospheric and reservoir conditions. These relationships can be used in the data interpretation of geophysical studies of wells and in the modeling of porosity and permeability properties of consolidated rocks of the Eastern slope of the Lviv depression.

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

УДК 550.34

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>В. Ігнатишин^{1,2}, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., доц.,
E-mail: rgstrs1962@i.ua;Д. Малицький³, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmalytsky@gmail.com;Т. Іжак², канд. геогр. наук, PhD, доц.,
E-mail: tiboras@kmf.uz.ua;М. Ігнатишин¹, пров. інж.,

E-mail: sitkomonika@i.ua;

А. Ігнатишин¹, інж. II кат.,

E-mail: Adalbert_lhnatisin@i.ua;

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,

Відділ сейсмічності Карпатського регіону,

вул. Ярославенка, 27, м. Львів, 79011, Україна;

²Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II,

пл. Кошута, 6, м. Берегове, 90202, Україна;

³Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова 3-Б, м. Львів, 79000, Україна

МОНІТОРИНГ СЕЙСМОТЕКТОНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ КОМПЛЕКСНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Присвячено вивченню зв'язку варіацій параметрів геофізичних полів та геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. Мета досліджень – вивчення зв'язків геодинамічного стану, спостережуваних метеорологічних параметрів та проявів сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину. Об'єкт дослідження: сейсмотектонічні процеси в регіоні за результатами моніторингу геофізичних полів. Предмет дослідження – просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, варіації параметрів атмосферних опадів, рівня води в річці Тисі за 2019–2020 рр. Методика досліджень полягає у використанні динамічних характеристик сучасних горизонтальних рухів, просторово-часового розподілу місцевих землетрусів, спостереженні атмосферних опадів та порівнянні інтервалів інтенсивних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Для дослідження використовуються дані, отримані під час режимних геофізичних спостережень на території Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України. Дані про рухи кори отримано на деформометричній станції "Королєве". Результати важливі для вивчення можливості прояву місцевої сейсмічності в регіоні та розв'язання проблем сейсмонезбезпечних територій та майбутнього прогнозу сейсмічних явищ.

Проведено дослідження зв'язку динаміки горизонтальних рухів кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та місцевої сейсмічності в період інтенсивних атмосферних опадів. Вивчено зв'язки варіацій параметрів атмосферних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у 2020 р. вказує на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних: підвищення величини кількості опадів супроводжується підвищенням величини кількості зареєстрованих місцевих землетрусів у регіоні, що підтверджує гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. У зоні Оашського глибинного розлому за 2020 р. спостерігається стиснення порід.

Ключові слова: гідрологічний стан, атмосферні опади, місцева сейсмічність, геодинамічний стан, землетруси, сучасні горизонтальні рухи кори.

Постановка проблеми. Дослідження гідрологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину актуально не тільки в зв'язку із частими катастрофічними явищами на річках, але і в питанні зв'язку гідрологічного стану регіону із сейсмотектонічними процесами, що в ньому відбуваються. Територія Закарпаття – сейсмонезбезпечна зона, яка характеризується періодичними проявами місцевої сейсмічності. Щороку сейсмічні станції, розташовані на Закарпатті, реєструють велику кількість місцевих землетрусів, у тому числі і відчутні землетруси, енергія яких може погіршити екологічний стан регіону, спричинивши руйнування. На території Закарпатської області зосереджено багато важливих транспортних мереж, нафтогазогонів, продуктогонів, ліній електропередач, водосховищ ГЕС та інших об'єктів підвищеної небезпеки, нормальне функціонування яких залежить від стану сейсмонезбезпечності регіону. Тому важливо та необхідно здійснювати моніторинг щодо геодинамічного стану регіону, а також факторів, що впливають на швидкість перебігу геофізичних процесів, які в основному прискорюють вивільнення геомеханічної енергії. Відзначимо, що на сейсмічну безпеку Закарпаття мають вплив землетруси, які відбуваються у зоні Вранча.

На території Закарпатського внутрішнього прогину тривалий період проводиться моніторинг геофізичних процесів, за результатами якого отримано характеристики сучасних горизонтальних рухів кори-розширення порід з величиною 10×10^{-7} . Проведено дослідження геофізичних полів: магнітного поля Землі, електромагнітної емісії та радіоактивного фону середовища підтвердив зв'язок динаміки зміни параметрів досліджуваних полів та сейсмотектоніки регіону. Зазначимо, що у досліджуваному регіоні проведено спостереження варіацій параметрів метеорологічного та гідрологічного стану середовища за період 2004–2019 рр., просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, які виявили гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у регіоні. Спочатку випадають інтенсивні опади, які супроводжуються швидким підняттям рівня води в свердловинах та річках регіону, зокрема в річці Тисі, на якій проводяться систематичні спостереження рівня води. Інтенсивні підняття води в річках супроводжуються інтенсивним розширенням порід (сезонні варіації рухів кори), що спостерігається на деформограмах в інтервалі доби. Як результат, спостерігають стиснення порід протягом 2–3 діб. Період спостережуваних

© Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А., 2022

геодинамічних аномалій супроводжується (через 1–2 тижні) відчутними місцевими землетрусами. Із погляду геодинамічних процесів слід відзначити, що опади спричиняють стиснення порід верхніх шарів земної кори. За відсутності опадів відбувається опускання рівня води в річках та вивільнення геомеханічної енергії. Отже, вивчення впливу гідрологічного стану середовища на можливе підвищення сейсмічності регіону необхідне для розв'язання можливих екологічних проблем гідрологічного та геологічного характеру.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Для вивчення сейсмотектонічних процесів у сейсмонезбезпечних регіонах важливі не тільки дослідження варіацій параметрів геофізичних полів, але і вивчення геологічних процесів, їх зв'язок з екологічним станом досліджуваних територій. Серед ключових напрямків геофізичних досліджень у регіоні – вивчення геодинамічних процесів. Відомі та досліджені характеристики напружено-деформаційного стану літосфери Землі за даними моделювання геопалеорекострукцій у геологічному часі. Вивченню ролі гравітаційно-ротаційних сил у формуванні глобального поля деформацій і напружень, як наслідку трансформації фігури поверхні літосфери Землі, присвячено низку робіт, зокрема (Церклевич та ін., 2019). За результатами електромагнітних спостережень виділено зони, охоплені фільтраційно-суфозійними процесами. Зазначені зони є першочерговими об'єктами, які повинні бути предметом пильної уваги для подальшого моніторингу карстопровальних процесів, а факт їх наявності необхідно враховувати для прийняття управлінських рішень органами влади про доцільність перенесення місць розташування автомагістралей та інших об'єктів інфраструктури (Максимчук та ін., 2019). Деформації земної поверхні відображають процеси глибинної динаміки Землі, які виникають унаслідок поступово-обертового руху планети в просторі. Традиційним підходом у таких дослідженнях є вивчення горизонтальних та вертикальних складових поля деформацій на основі технологій супутникової геодезії, що забезпечує можливість моніторингу і вивчення тривимірного поля деформацій за допомогою сучасних методів (Марченко та ін., 2019). Геодезичний моніторинг деформаційних процесів на геодинамічних полігонах (ГП) відбувається зазвичай без урахування впливу екзогенних чинників метеорологічного походження на динаміку земної поверхні та реперів. Для успішного виділення тектонічних чи техногенних рухів із усього спектра зареєстрованих переміщень земної поверхні потрібно вилучити їх гідрометеорологічну складову. Одним із видів метеорологічного впливу на динаміку земної поверхні та реперів є об'ємні деформації набряклих ґрунтів внаслідок варіації їх вологості, які зумовлюють сезонні вертикальні рухи, величина яких залежить від фізичних та мінералогічних властивостей ґрунту, особливостей навколишнього середовища та амплітуди річних коливань температури і вологості (Павлик та ін., 2019). Результати моніторингу процесів деформації русла річки повинні враховуватися під час вирішення завдань, пов'язаних з її русловими процесами, серед яких: розроблення та будівництво гідротехнічних споруд, проєктування мереж електропередачі на перетині річок, розвиток газопроводів, визначення небезпечних зон затоплення, визначення наслідків руйнування після спалахів або сезонних повеней (Буриштинська та ін., 2019). Зазначимо, що отримані магнітні характеристики рекомендовано враховувати для комплексної інтерпретації з метою розробки оптимального алгоритму моніторингу територій розташування об'єктів критичної

інфраструктури (Меньшов, 2020). Відомі роботи щодо створення моделі геоелектричних розрізів, а також визначень зони з аномальними значеннями електричної провідності та інтенсивності природного електромагнітного випромінювання (Кузьменко та ін., 2019). Для достовірної оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і, відповідно, прогнозування карстових процесів і деформацій, пов'язаних із наявністю видобувних камер і розвитком карсту, можна успішно застосовувати метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) (Баєрій та ін., 2020). Підтверджено залежність магнітуди від енергетичного класу, взаємозв'язок між геоакустичними і деформаційними даними. Показано, що чим більша глибина залягання вогнища землетрусу, тим більший коефіцієнт детермінації, що важливо для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, параметрів вогнищ землетрусів, що дає змогу побудувати дієву модель сейсмічності Закарпатського регіону (Хомяк та ін., 2020). Динаміка розвитку зсувів у межах зсувонезбезпечних територій за даними супутникової інтерферометрії в поєднанні з даними літолого-стратиграфічних, геоморфологічних і структурно-тектонічних досліджень дає результати щодо розвитку цих процесів і мінімізації їхнього негативного впливу на природно-техногенні системи (Углицьких та ін., 2020). У статті (Малицький, Майксел, 2021) представлено визначення тензора сейсмічного моменту методом інверсії хвильових форм з використанням тільки прямих хвиль, які реєструються на одній або на обмеженій кількості станцій. Дану методику застосовано для двох місцевих землетрусів, які відбулися в регіоні м. Бойзе (США).

Прояви змін клімату доцільно шукати у змінах циклічності температури та атмосферних опадів, пов'язаних із змінами сонячної активності (Шевченко та ін., 2021). Вивчення метеорологічного стану регіону, зокрема атмосферних опадів, рівнів води в свердловинах, підтвердило зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів у Закарпатському внутрішньому прогині (Ігнатишин та ін., 2019). Дослідження варіацій параметрів окремих геофізичних полів показали зв'язок геофізичних полів із геодинамічним станом у Закарпатському внутрішньому прогині (Ігнатишин та ін., 2019). У результаті досліджень виявлено зв'язок деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину, а саме, стиснення земної кори із підвищенням сейсмічності регіону (Ігнатишин та ін., 2017).

Сейсмотектонічні процеси та гідрогеологічний стан регіону в 2019 році. Геофізичні та сейсмологічні спостереження проводяться на території Закарпатського внутрішнього прогину тривалий час, оскільки тут функціонують пункти геофізичних спостережень Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України та Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (рис. 1).

Важливість проведення досліджень гідрогеологічного стану Закарпаття викликане не тільки частими стихійними лихами гідрологічного характеру, від яких потерпає населення, але сейсмічними явищами, що є не рідкістю для даної сейсмонезбезпечної зони України. На території Закарпаття є багато річок, штучних озер, що можуть порушувати геологічну рівновагу середовища та створювати додаткові напруження на прилеглих ділянках. Через територію пролягають багато екологічно небезпечних технологічних артерій: нафтопроводів, газопроводів, продуктопроводів, ліній електропередач, залізничних

магістралей, які під час землетрусів можуть бути пошкоджені, що може вилитися в екологічну катастрофу. На території Закарпаття діє гідроелектростанція, а також у плані будівництво інших менших електростанцій. Всі ці об'єкти матимуть штучні водойми, водні маси яких чинитимуть тиск на поверхню земної кори, що може прискорити розрядку напружено-деформованого стану порід. Актуальність проведених наукових досліджень викликана також періодичністю сейсмічної активності регіону. Лише за 2019 р. сейсмічними станціями зареєстровано 116 місцевих землетрусів. У той же час слід відзначити, що останні відчутні місцеві землетруси були зареєстровані в Тячівському районі Закарпатської області в липні 2015 р. Оскільки відчутні місцеві землетруси на території Закарпатського внутрішнього прогину відбуваються з частотою 2–6 подій на рік, імовірність появи землетрусу для цього району зростає. Сучасні горизонтальні рухи кори, виміряні на пункті деформометричної станції "Королеве" в 2019 р., представлено розширеннями порід величиною $+6,5 \times 10^{-7}$. У 2018 р. підтверджено розширення порід з величиною $+12,8 \times 10^{-7}$. Отримана тенденція вказує на те, що рухи кори в регіоні мають усадковий характер – розширення порід із величиною $+10 \times 10^{-7}$. Підтверджено зв'язок інтенсивних рухів кори та місцевої

сейсмічності в регіоні, а також зв'язок метеорологічних параметрів та сейсмотектонічних процесів у регіоні: інтенсивні атмосферні опади супроводжуються підняттям рівня води у водоймах та річках, що суттєво впливає на поверхню земної кори. У свою чергу відбуваються інтенсивні рухи кори, а саме стиснення та розширення порід, через відчутні місцеві землетруси. Важливо вивчити вплив гідрологічного стану на прояв місцевої мікросейсмічності, оскільки у цей період спостережень відчутних місцевих землетрусів не зареєстровано. У результаті дослідження виявлено, що інтенсивні опади спричиняють інтенсивні стиснення кори в зоні Оашського глибинного розлому, незначні опади суттєво не впливають на характер рухів кори в регіоні, але сейсмічність проявляється після інтенсивних атмосферних опадів та інтенсивних рухів обох знаків у зоні даного розлому. Атмосферні опади супроводжуються інтенсивними рухами кори, які, у свою чергу, перебувають в одному часовому інтервалі з періодами підвищення сейсмічності. Оскільки на території зони Оашського глибинного розлому зареєстровано атмосферні опади величиною 600 мм, то можна стверджувати, що гідрологічний аспект, а також аерофізичний та астрофізичний аспекти є основними факторами впливу на сейсмотектоніку регіону.

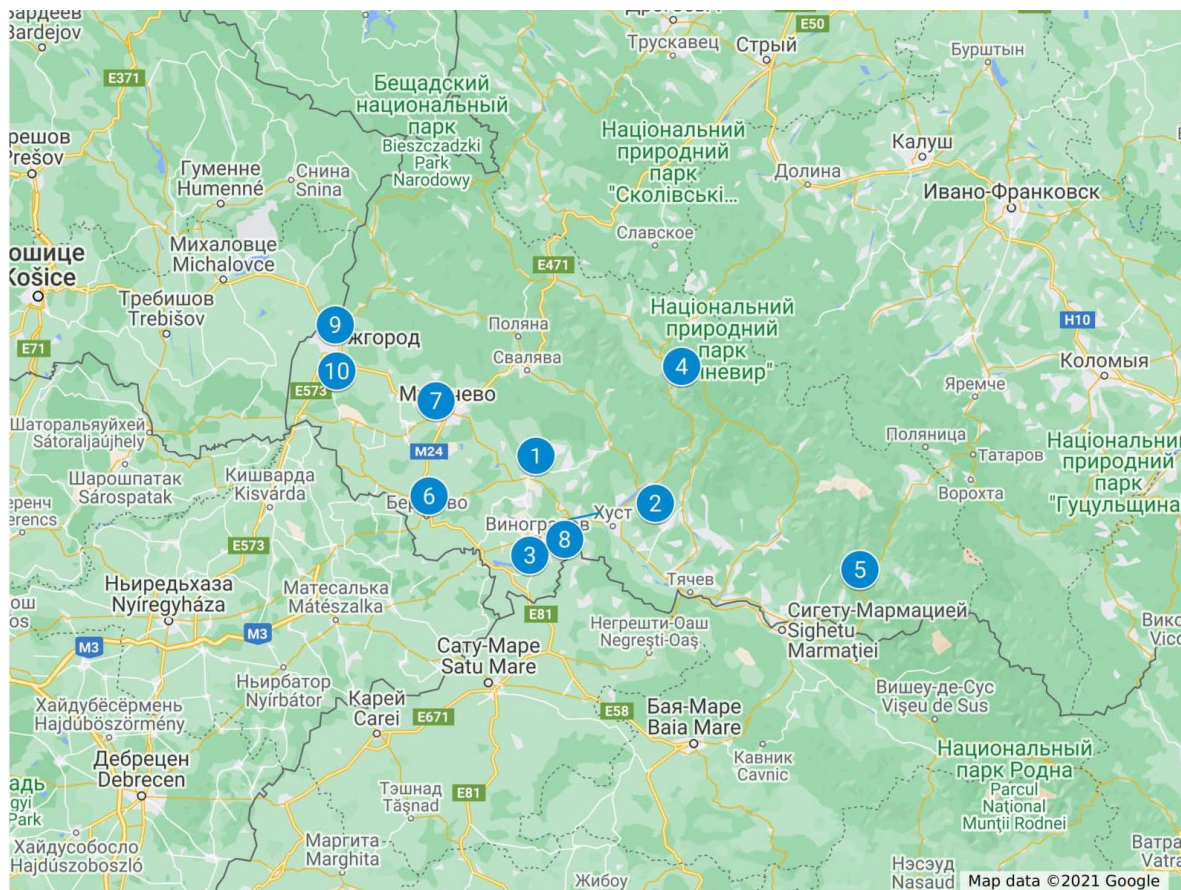


Рис. 1. Карта-схема розташування пунктів режимних геофізичних, сейсмологічних та деформометричних досліджень на території Закарпатського внутрішнього прогину:

- 1 – Режимна геофізична станція "Брид"; 2 – Режимна геофізична станція "Нижне-Селище"; 3 – Режимна геофізична станція "Тросник"; 4 – Сейсмічна станція "Міжгір'я"; 5 – Сейсмічна станція "Рахів"; 6 – Режимна геофізична станція "Берегове"; 7 – Режимна геофізична станція "Мукачеве"; 8 – Пункт деформометричних спостережень "Королеве"; 9 – Сейсмічна станція "Ужгород"; 10 – Режимна геофізична станція "Холмовець"

(https://www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTr_41rfgQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&llne=49.311348%2C24.686393)

Землетруси відбулися в період інтенсивних рухів кори, після реєстрації інтенсивних атмосферних опадів.

На рис. 2 представлено розподіл атмосферних опадів за 2019 р., на якому спостерігаємо, що інтенсивність опадів

припадає на декілька часових інтервалів. На цьому рисунку здійснено порівняльний аналіз кінематики сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та варіації параметрів гідрологічного стану за 2019 р. Можна побачити, що інтенсивні атмосферні опади в регіоні передують інтервалам, що

характеризуються підвищеними величинами кінематичних характеристик сучасних рухів кори.

На рис. 3 представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, варіації параметрів гідрологічного стану регіону та часовий розподіл прискорення геомеханічних рухів у Закарпатському внутрішньому прогині.

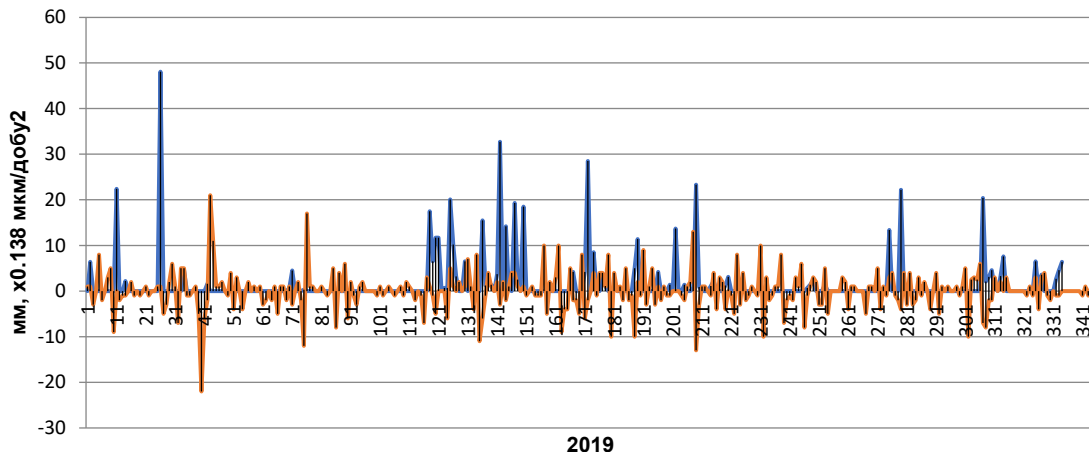


Рис. 2. Атмосферні опади (крива синього кольору) та сучасні рухи земної кори (крива червоного кольору) у 2019 році

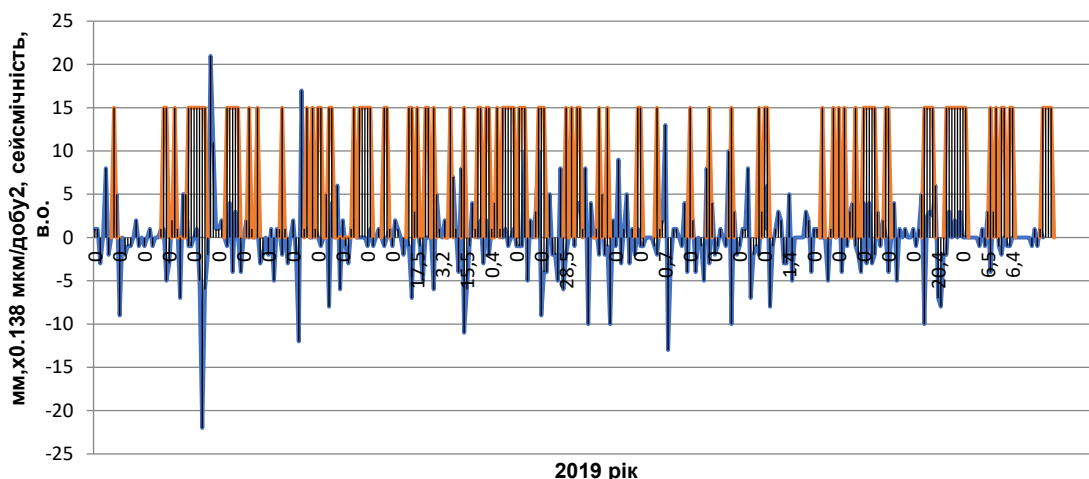


Рис. 3. Місцева сейсмічність (діаграма червоного кольору), рухи кори (крива синього кольору) та атмосферні опади (діаграма чорного кольору) за 2019 рік

Інтенсивні опади супроводжуються інтенсивними рухами кори, інтенсивні рухи кори, у свою чергу, супроводжуються проявом активізації місцевої сейсмічності. Біля режимної геофізичної станції (РГС) "Тросник" (с. Тросник Берегівського р-ну) проводяться систематичні вимірювання варіацій рівня води у свердловинах та річці Тиса. Попередні наукові дослідження, які стосувалися вивчення зв'язку параметрів гідрологічного режиму та сеймотектонічного стану, вказують на суттєвий вплив параметрів гідрологічного стану на геофізичні процеси, що відбуваються: рухи кори та вивільнення енергії пружних деформацій.

Найсуттєвіший вплив на геодинаміку регіону здійснюють атмосферні опади. Вони вимірюються на РГС "Тросник" за допомогою опадоміра Третьяковського, а також цифрової метеорологічної станції "Конрад". Інтервал між сейсмічною активізацією та атмосферними опадами становить 1 добу. За період від січня до листопада 2020 р. на території РГС "Тросник" зареєстровано 607,85 мм атмосферних опадів, що приблизно збігається з кількістю опадів за 2019 р. (рис. 4).

Із графіків на рис. 4 робимо висновок, що в результаті дослідження виявлено кореляцію, а саме: сейсмічній активності регіону передують інтервали часу інтенсивних опадів. Інтервал становить 1 місяць, і максимуми атмосферних опадів у червні реєструються за місяць до максимумів місцевої сейсмічності в липні 2020 р.

Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік. Проведено розрахунки сучасних рухів земної кори у досліджуваному регіоні. Було обчислено зміщення земної кори на пункті деформометричних спостережень "Королеве" у напрямку схід-захід у штольні пункту (рис. 5). Проведені вимірювання рухів кори в 2019 р. вказали на розширення порід кори величиною $+6,5 \times 10^{-7}$. Отримані результати моніторингу деформації земної кори підтвердили подальше розширення кори, що спостерігається від 1999 р. (початку деформометричних спостережень у регіоні). Досліджено рухи кори у місячних та добових діапазонах для виявлення їх періодичності. Враховано підсилення деформометра, що становить 0,138 мкм на 1 мм запису деформограми. За період в

11 місяців 2020 р. в зоні Оашського глибинного розлому зареєстровано зміщення величиною -28 нстр., а також виявлено періодичності тривалістю у 4 місяці. Як висновок – загальний характер сучасних горизонтальних рухів кори в досліджуваному регіоні відповідає стисненню порід. Виявлено, що амплітуди коливання величини

зміщення кори є суттєвими. Показано, що за 6 місяців 2020 р. стиснення порід становило 2000 нстр. На рис. 5 представлено зміщення земної кори в місячному діапазоні; виділено періоди тривалістю 2 та 4 місяці. Показано результати вимірювання горизонтальних рухів за 2020 р. та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності.

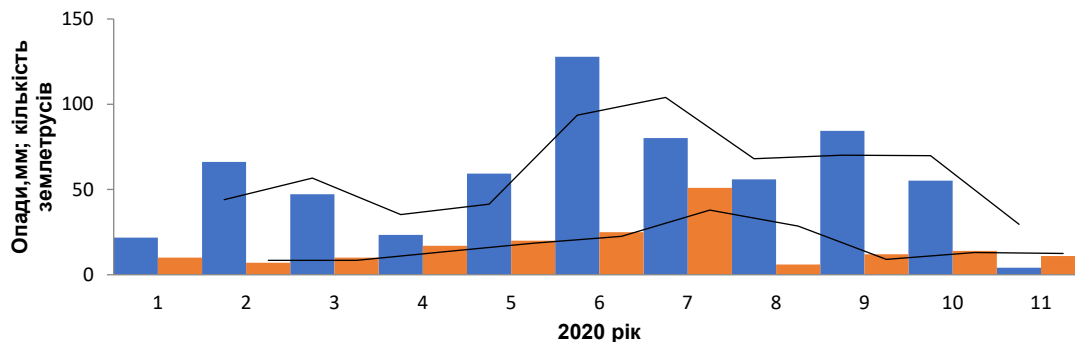


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма червоного кольору) та гідрологічний стан на РГС "Тросник" за 2020 рік (діаграма синього кольору)

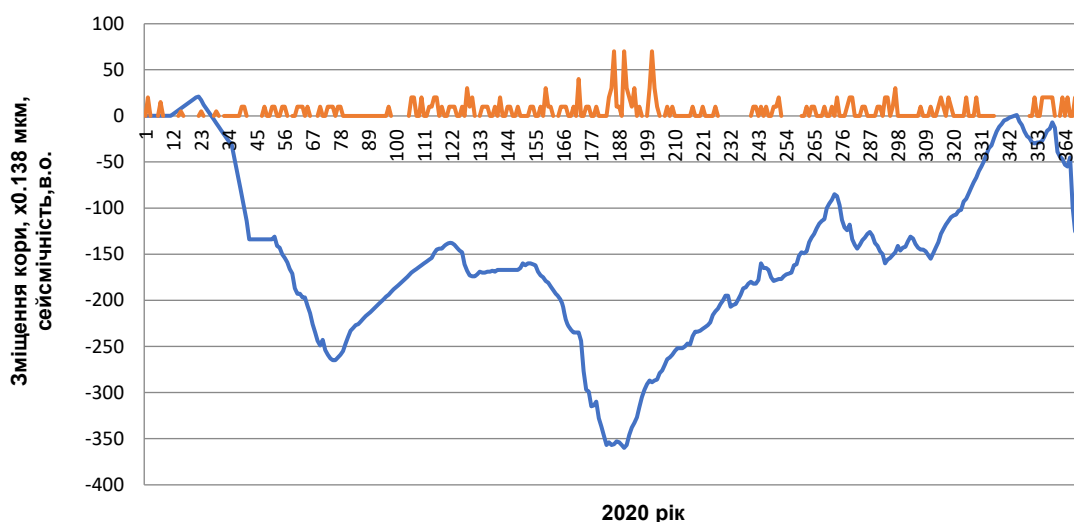


Рис. 5. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма червоного кольору), зміщення земної кори (крива синього кольору) у Закарпатському внутрішньому прогині в 2020 році

Рухи кори на рис. 5 представлено високими амплітудами, що свідчить про виконання механічної роботи, на яку було затрачено велику геомеханічну енергію. Ймовірно відбувається акумуляція енергії зміщень верхніх шарів земної кори, що може сприяти підвищенню місцевої сейсмічності. Активність сейсмічності корелюється з періодом мінімуму рухів кори Землі, що відповідає стисненню порід. Виділені максимуми сейсмічної інтенсивності лежать в інтервалі періодів стиснення порід у добовому діапазоні.

Максимуми сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину припадають на липень 2020 р. (рис. 5), а рухи кори зазнають інтенсивних змін знаків з періодом у 4 місяці. Зміщення форм кривих спостережуваних геофізичних полів становить 3 місяці, тобто землетруси реєструються через 3 місяці після інтенсивних рухів кори. Результати дослідження рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (деформометрична станція пункту деформометричних спостережень) за весь період роботи з 1999 по 2020 р. показують важливу особливість сучасних горизонтальних рухів кори, а саме їх періодичність, що становить 12 років. Ця періодичність включає в себе і наявність тривалих періодів із

нехарактерними кінематичними характеристиками: протягом 2–2,5 років зміщення кори представлено низькими величинами вікових ходів спостережуваних деформацій кори (близькими до умовного "0") та від'ємними рухами земної кори (стисненнями порід). Ці періоди важливі для розуміння характеру зміщень порід та сейсмічного стану регіону, оскільки після періоду низьких та від'ємних рухів кори спостерігаються тривалі (до 10 років) часові інтервали розширення порід із швидкостями, що лежать у діапазоні $4\text{--}20 \times 10^{-7}$. Також виявлено збільшення частоти прояву місцевої сейсмічності за цей інтервал часу, показано початок іншої фази вікових рухів кори, коли вони по чергово перебувають у процесі стиснення та розширення в річному діапазоні. Цей період часу відмічається як період підвищення сейсмічності регіону, тобто сейсмічний фон Закарпатського внутрішнього прогину коливається в межах двох сотень місцевих землетрусів. Індикатором активізації місцевої сейсмічності є реєстрація відчутних місцевих землетрусів, періодичність яких коливається від одного до шести подій за рік. Виявлено тривалий період відсутності відчутних місцевих землетрусів, але за липень-серпень 2015 р. в Тячівському

районі Закарпаття було зареєстровано сотні повторних мікроземлетрусів, серед яких були і 6 відчутних (Гнип та Ніщіменко, 2016).

Висновки. Результати спостережень та досліджень сейсмотектонічних явищ у сейсмогенеруючих областях земної кори виявили особливості, що характеризують екологічний стан регіону. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому є періодичними. Загальна тенденція рухів кори – розширення порід з величиною $+10 \times 10^{-7}$. Величина зміщення земної кори, яка виміряна на ПДС "Королеве", вказує на стиснення порід і становить -28 нстр. Сейсмічність регіону представлено 182 місцевими землетрусами, у тому числі одним відчутним, зареєстрованим 23 січня 2020 р. на території Берегівського району Закарпатської області. Вперше за період з липня 2015 р. на території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус інтенсивністю 4–5 бали за шкалою MSK-64. Більша частина місцевих сейсмічних подій реєструється під час стиснення порід, виміряних на ПДС "Королеве". Коливання зміщень точок спостережень у зоні Оашського глибинного розлому характеризується великими амплітудами та свідчить про енергетичний потенціал геологічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. Коливання рухів кори з амплітудами періодами 10–12 днів, ймовірно, акумулюють геомеханічну енергію рухів кори, що супроводжується стисненнями порід та швидкими рухами верхніх шарів земної кори, а саме землетрусами. Активність сейсмічності корелюється з періодом мінімуму рухів кори Землі, коли відбувається стиснення кори. Виділені максимуми сейсмічної інтенсивності лежать в інтервалі періодів стиснення порід і в добовому діапазоні. Максимуми сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину, що припадають на липень-серпень 2020 р., зазнають інтенсивних змін знаків з періодом у 4 місяці. Актуальним залишається вивчення сейсмотектонічних процесів в інших сейсмонезбезпечних локальних точках Закарпаття. Результати, отримані під час геодинімічного та сейсмічного моніторингу середовища, важливі для вивчення сейсмогенеруючих територій та їх сейсмонезбезпечності. За січень – березень 2020 р. зафіксовано інтенсивні атмосферні опади, які супроводжувалися проявом місцевої сейсмічності. Аналіз комплексного графіку (рис. 5) вказує на кореляцію кривих спостережуваних метеорологічних та геофізичних величин. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у липні-серпні 2020 р. вказують на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних: інтенсивні атмосферні опади та зростання сейсмічної активності в одних часових інтервалах. За цей період спостережень виявлено стиснення порід, але малої величини, подібно до 2014 р., коли було відмічено умовний "0" сучасних горизонтальних рухів. За 2020 р. на території Виноградівського району зареєстровано атмосферні опади величиною 607,85 мм. Криві результатів дослідження геофізичних величин корелюють між собою: сейсмічній активності регіону передують інтервали часу інтенсивних опадів. Різниця часу становить 1 місяць, тобто максимуми атмосферних опадів у червні реєструються за місяць до максимумів місцевої сейсмічності в липні 2020 р. Отже, у результаті досліджень підтверджено гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині.

Список використаних джерел

Багрий, С., Кузьменко, Е., Дзьоба, У. (2020). Зв'язок природного імпульсного електромагнітного поля Землі з напруженнями та деформаціями гірських порід на відпрацьованих родовищах солі в Передкарпатті в

задачах прогнозування розвитку карсту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(89), 79-88.

Бурштинська, Х.В., Бабушка, А.В., Бубняк, І.М., Бабій, Л.В., Третяк, С.К. (2019). Вплив геологічних структур на характер зміщень русел рік верхньої частини басейну Дністра. *Геодинаміка*, 2(27), 24-38.

Гнип, А., Ніщіменко, І. (2016). Ідентифікація повторних землетрусів тягівської серії 2015 р. *Матеріали VI Міжнародної наукової конференції "Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища", 20-23 вересня 2016 р., Львів: СПОЛОМ*, 56-58.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, А.В., Ігнатишин, М.Б. (2019). Зв'язок деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Регіон – 2019: суспільно-географічні аспекти", Харків, 11 – 12 квітня 2019 р.*, 146-149.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, М.Б., Ігнатишин, А.В. (2019). Зв'язок геофізичних полів із геодинімічним станом в Закарпатському внутрішньому прогині. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку", Переяслав-Хмельницький*. Вип. 48, 9-15.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, М.Б., Ігнатишин, А.В. (2019). Зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів в Закарпатському внутрішньому прогині. *Матеріали XXVII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Інноваційні пріоритети у розвитку науки", 18 Лютого 2019 р., Вінниця*. Частина 1, 61-67.

Кузьменко, Е.Д., Максимчук, В.Ю., Багрий, С.М., Сапужак, О.Я., Чепурний, І.В., Дешиця, С.А., Дзьоба, У.О. (2019). Комплексування методів електророзвідки у задачах прогнозування техногенних процідань і провалів на родовищах солі Передкарпаття. *Геодинаміка*, 2(27), 54-65.

Максимчук, В.Ю., Сапужак, О.Я., Дешиця, С.А., Романюк, О.І., Підвірний, О.І., Коляденко, В.В., Тимошук, В.Р. (2019). Оцінка карстопровальної небезпеки у межах Стебницького калійного родовища методами електророзвідки. *Геодинаміка*, 1(26), 76-89.

Малицький, Д., Майкесел, Д. (2021). Визначення фокальних механізмів малих землетрусів шляхом обернення їхніх хвильових форм. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(92), 108-116.

Марченко, О.М., Перій, С.С., Ломпас, О.В., Голубінка, Ю.І., Марченко, Д.О., Крамаренко, С.О., Abdulwasii, Salawu (2019). Визначення тензора швидкостей горизонтальних деформацій в Західній Україні. *Геодинаміка*, 2(27), 5-17.

Меньшов, О. (2020). Магнітні дослідження природних і техногенних процесів об'єктів критичної інфраструктури на прикладі ділянки "Глинка". *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(88), 34-39.

Павлик, В.Г., Кутний, А.М., Кальник, О.П. (2019). Особливості впливу сезонних варіацій вологості ґрунту на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка*, 2(27), 16-23.

Углицьких, Є., Вижва, С., Іванік, О. (2020). Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні території Закарпаття за даними радарної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(91), 94-99.

Хом'як, М., Малицький, Д., Асташкіна, О., Махницький, М., Кравець, С., Микита, А., Грицай, О. (2020). Регресійний аналіз сейсмічних і геофізичних параметрів та його застосування для дослідження сейсмічності Закарпатського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(90), 49-53.

Церклевич, А.П., Шило, О.М., Шило, Є.О. (2019). Зміни фігури Землі – геодинімічний фактор напружено-деформованого стану літосфери. *Геодинаміка*, 1(26), 28-42.

Шевченко, О., Скорбун, А., Осадчий, В., Чарний, Д. (2021). Мінливі ритми в режимі ґрунтових вод та їхній зв'язок з кліматичними чинниками. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(93), 71-81.

www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTTr41rfgQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&lln=49.311348%2C24.686393.

References

Bahrii, S., Kuzmenko, E., Dzoba, U. (2020). Zviazok pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli z napruzhenniamy ta deformatsiamy hirs'kykh poridna vidpratsovanykh rodovyschchak soli v Peredkarpatti v zadachakh prohnozuvannia rozvytku karstu. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(89), 79-88. [in Ukrainian]

Burshtynska, Kh.V., Babushka, A.V., Bubiak, I.M., Babii, L.V., Tretiak, S.K. (2019). Vplyv heolohichnykh struktur na charakter zmishchen rusel rik verkhnoi chastyny baseinu Dnistra. *Geodynamics*, 2(27), 24-38. [in Ukrainian]

Kuzmenko, E.D., Maksymchuk, V.Yu., Bahrii, S.M., Sapuzhak, O.Ya., Chepurnyi, I.V., Deshchysia, S.A., Dzoba U.O. (2019). Kompleksuvannia metodiv elektrorozvidky u zadachakh prohnozuvannia tekhnohennykh prosidan i provaliv na rodovyschchak soli Peredkarpattia. *Geodynamics*, 2(27), 54-65. [in Ukrainian]

Hnyh, A., Nishchimenko, I. (2016). Identyfikatsiia povtornykh zemletrusiv tiachivskoi serii 2015 r. *Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo konferentsii "Heofizychni tekhnolohii prohnozuvannia ta monitorynhu heolohichnoho sredovyschcha", 20-23 veresnia 2016 r., Lviv: SPOLOM*, 56-58. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, M.B., Ihnatyshyn, A.V. (2019). Zviazok heofizychnykh poliv iz heodynamichnym stanom v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni. *Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii "Vitchyzniana nauka na zlami epokh: problemy ta perspektyvy rozvytku"*, Pereiaslav-Khmelnytskyi. Vyp. 48, 9-15. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, M.B., Ihnatyshyn, A.V. (2019). Zviazok hidroheolohichnoho ta seismotektonichnoho staniv v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii "Innovatsiini priorytety u rozvytku nauky"*, 18 Liutoho 2019 r., Vinnytsia. Chastyna 1, 61-67. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, A.V., Ihnatyshyn, M.B. (2019). Zviazok deformatsii zemnoi kory iz seismichnistiu Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za 2017 rik. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv "Rehion – 2019: suspilno-heohrafichni aspekty"*, Kharkiv, 11 – 12 kvitnia 2019 r., 146-149. [in Ukrainian]

Maksymchuk, V.Yu., Sapuzhak, O.Ya., Deshchytisia, S.A., Romaniuk, O.I., Pidvirnyi, O.I., Koliadenko, V.V., Tymoshchuk, V.R. (2019). Otsinka karstoprovalnoi nebezpeky u mezhakh Stebnytskoho kaliinoho rodovyscha metodamy elektrorozvidky. *Geodynamics*, 1(26), 76-89. [in Ukrainian]

Malytskyi, D., Maikesel, D. (2021). Vyznachennia fokalnykh mekhanizmiv malykh zemletrusiv shliakhom obemennia yikhnikh khvylovykh form. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 108-116. [in Ukrainian]

Marchenko, A.N., Perii, S.S., Lompas, O.V., Golubinka, Yr.I., Marchenko, D.A., Kramarenko, S.O., Abdulwasii, Salawu (2019). Determination of the horizontal strain rates tensor in Western Ukraine. *Geodynamics*, 2(27), 5-17. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2020). Mahnitni doslidzhennia pryrodnykh i tekhnohennykh protsesiv ob'ektiv krytychnoi infrastruktury na prykladi dilianky "Hlynka". *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(88), 34-39. [in Ukrainian]

Pavlyk, V.H., Kutnyi, A.M., Kalnyk, O.P. (2019). Osoblyvosti vplyvu sezonnykh variatsii volohy gruntu na vertykalni rukhy zemnoi poverkhni. *Geodynamics*, 2(27), 16-23. [in Ukrainian]

Uhlytskykh, Ye., Vyzhva, S., Ivanik, O. (2020). Monitorynh vertykalnykh zmishchen zemnoi poverkhni terytorii Zakarpattia za danymy radarnoi interferometrii. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(91), 94-99. [in Ukrainian]

Khomiak, M., Malytskyi, D., Astashkina, O., Makhnitskyi, M., Kravets, S., Mykyta, A., Hrytsai, O. (2020). Rehresiyni analiz seismichnykh i heofizychnykh parametriv ta yoho zastosuvannia dlia doslidzhennia seismichnosti Zakarpatskoho rehionu. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(90), 49-53. [in Ukrainian]

Tserklevych, A.L., Shylo, O.M., Shylo, Ye.O. (2019). Zminy fihury Zemli-heodynamichnyi faktor napruzhenno-deformovanoho stanu litosfery. *Geodynamics*, 1(26), 28-42. [in Ukrainian]

Shevchenko, O., Skoribun, A., Osadchyi, V., Charnyi, D. (2021). Minlyvi rytmy v rezhymy gruntovykh vod ta yikhni zviazok z klimatychnymy chynnykamy. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(93), 71-81. [in Ukrainian]

www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTTr41rfqQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&llne=49.311348%2C24.686393

Надійшла до редколегії 10.03.22

V. Ihnatyshyn^{1,2}, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Assoc. Prof., E-mail: rgstrs1962@i.ua;

D. Malytskyi³, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., E-mail: dmalytskyi@gmail.com;

T. Izhak², Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof., E-mail: tiboras@kmf.uz.ua;

M. Ihnatyshyn¹, Leading Engineer, E-mail: sitkomonika@i.ua;

A. Ihnatyshyn¹, Category II Engineer, E-mail: Adalbert_Ihnatisin@i.ua;

¹S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Department of Seismicity of Carpathian region, 27 Yaroslavenka Str., Lviv, 79011, Ukraine;

²Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, 6 Kossuth Sq., Berehove, 90202, Ukraine;

³Carpathian Branch of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 3 B Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

MONITORING SEISMOTECTONIC PROCESSES IN THE TRANSCARPATHIAN INNER TROUGH BASED ON THE RESULTS OF COMPLEX GEOPHYSICAL OBSERVATIONS

The article is devoted to the study of relations between the parameter variations of geophysical fields and the geodynamic state of the Transcarpathian Inner Trough. The research aims at studying the relations between the geodynamic state, observed meteorological parameters, and seismic phenomena in the Transcarpathian Inner Trough. Exploration target: seismotectonic processes in the region based on the results of monitoring geophysical fields. The scope of research includes the spatiotemporal distribution of local seismicity, modern lateral movements of the Earth's crust in the Oaş deep-seated fault area, precipitation parameter variations, water level in the Tysa River in 2019–2020. Research methodology presupposes the use of dynamic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust, spatiotemporal distribution of local earthquakes, observation of precipitation, as well as the comparison of heavy precipitation intervals with periods of seismic intensification. The research uses data obtained in the course of monitoring geophysical observations in the Transcarpathian Inner Trough area, especially at monitoring geophysical stations of the Seismicity Department of the Carpathian region of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The data on the movements of the Earth's crust have been obtained at "Korolevo" strainmeter station. The results are significant to study the possible occurrence of local seismicity in the region and to settle the issue of seismically hazardous territories, as well as prediction of seismically hazardous phenomena in the future.

The research studies the relation between the dynamic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust in the central part of the Transcarpathian Inner Trough and local seismicity in periods of intensive precipitation. The authors studied the relations between precipitation parameter variations and spatiotemporal distribution of local seismicity in 2019–2020. The analysis of spatiotemporal distribution of local seismicity and precipitation parameter variations in 2020 testifies to a high correlation of geophysical data series: increased amounts of precipitation are accompanied by an increased number of registered local earthquakes in the region; the hydrological aspect of seismotectonic processes in the Transcarpathian Inner Trough has been substantiated. In 2020 rock compression could be observed in the Oaş deep-seated fault area.

Keywords: hydrological state, precipitation, local seismic activity, geodynamic state, earthquakes, modern lateral movements of the Earth's crust.

Е. Кузьменко¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;В. Максимчук², д-р фіз.-мат. наук, проф.,E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;І. Чепурний¹, канд. геол. наук, доц.,E-mail: igor.chepurnyi@gmail.com;С. Багрий¹, канд. геол. наук, доц.,E-mail: gbg2020@ukr.net;О. Романюк², канд. геол. наук,E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;Р. Кудеравець², канд. геол. наук,E-mail: romankuderaevets@gmail.com;¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна;

²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,

вул. Наукова, 3-Б, м. Львів, 79060, Україна

ДОМІНІКАНСЬКИЙ КОСТЕЛ У ЧОРТКОВІ: ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ, ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ КРИПТИ, СТАБІЛІЗАЦІЯ БУДІВЛІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

Присвячено висвітленню результатів геолого-геофізичних досліджень, які проведено на території Домініканського костелу у м. Чортків Тернопільської області з метою визначення напружено-деформованого стану елементів будівлі та пошуку зон пустот і розуцільнення у приповерхневому шарі ґрунту.

Методи досліджень – методи природного імпульсного електромагнітного поля Землі, вертикального електричного зондування, природних електричних потенціалів, радіохвильового акустичного профілювання, георадарного зондування.

Визначено та проаналізовано причини розвитку небезпечних процесів, які негативно впливають на стан будівлі костелу. Встановлено, що причинами зазначених деформацій є геологічна будова порід, на яких побудований костел, нахил рельєфу, природне зволоження ґрунту, інтенсивний рух транспорту та створення додаткових джерел інфільтрації води.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, напружено-деформований стан, геофізичні дослідження, деформації, археологія.

Вступ. Домініканський костел Матері Божої св. Розарія та св. Станіслава у м. Чортків Тернопільської області було відкрито для богослужіння в 1610 р. Костел зазнав значної перебудови на початку ХХ ст. у зв'язку зі збільшенням кількості парафіян і, відповідно, з потребою збільшення храмового простору. Нинішнього вигляду костел набув у 1910 р. (архітектор Ян Сас Зубрицький) – рис. 1. До костелу примикали монастирські приміщення.

Передумовою виконання наукових геолого-геофізичних досліджень на території костелу та прилеглих ділянок є деформації окремих елементів будівлі костелу.

Особливості проведення геолого-геофізичних досліджень та їх інтерпретації є той фактор, що для визначення причин розвитку деформаційних процесів будівлі костелу слід враховувати археологічні фактори: численні перебудови костелу, зміни в забудові прилеглих територій, наявність підземної крипти під будівлею костелу, розташування якої на час проведення досліджень не було відомим. Крім того, крипта могла спричиняти додатковий вплив на розвиток деформаційних процесів. Тому супутнім завданням було знаходження крипти та підземних ходів, визначення їх стану, в тому числі обводнення та, відповідно, впливу на розвиток деформацій будівлі костелу. Для цього було застосовано комплекс геофізичних електричних та сейсмоакустичних методів та проведено інтерпретацію їх результатів з урахуванням історії перебудов будівлі костелу та розвитку в часі інженерно-геологічної та гідрогеологічної ситуації.

Мета досліджень. Метою геолого-геофізичних та археологічних досліджень, що проводились у будівлі костелу та на прилеглий території в останні роки, є визначення та аналіз причин розвитку небезпечних процесів, які негативно впливають на стан будівлі костелу. Деформація будівлі наочно відображається у появі та поширенні тріщин у підлозі та на стінах, а також у підтопленні підлоги в період інтенсивних опадів.

Деформаційні процеси можуть бути пов'язані з інженерно-геологічними, гідрогеологічними та техногенними чинниками. Тому під час планування науково-дослідних робіт і для їх виконання були сформовані або уточнені такі геологічні та архітектурні завдання:

- створення цифрового формату моделі сучасного костелу, суміщеного з давнім костелом 1610 р.;
- уточнення геологічної будови масиву гірських порід у районі костелу та на прилеглих ділянках;
- визначення ступеня обводнення гірських порід;
- уточнення місцезнаходження крипти;
- визначення ступеня напруженого стану гірських порід та елементів будівлі костелу;
- визначення наявності екзогенних геологічних процесів;
- окреслення факторів, що є причинами деформації будівлі костелу.

Аналіз досвіду вирішення археологічних задач геофізичними методами. Останніми роками геофізичні методи традиційно використовують під час археологічних досліджень. Свідченням цього є значна кількість наукових праць із цієї тематики. Першими з цього напрямку у світі є дослідження шляхом вимірювань питомого електричного опору на археологічній пам'ятці у 1946 р. (Atkinson, 1953). У подальшому інші геофізичні методи впроваджувались для супроводу археологічних досліджень, зокрема, магнітні (Belshé, 1957; Загній та ін., 1971; Бондар та ін., 2019), георадарні (Annan, 2003; Бондар та ін., 2020), електрометричні (Panissod, 1997; Papadopoulos, 2009). Європейська археологічна комісія створила методичні рекомендації з геофізичних досліджень при археологічній експертизі (Schmidt et al., 2015), які покликані допомогти досягти стандартизації методів прикладної геофізики в археології. Ці рекомендації лягли в основу національних стандартів європейських країн. Серед українських науковців, які

працюють у сфері застосування геофізичних методів в археології, варто відмітити праці В.П. Дудкіна та І.Н. Кошелева (*Дудкін та Кошелев, 1999*), Г.Ф. Загнія (*Загній, 1979*), М.І. Орлюка (*Орлюк та ін, 2016*), А.В. Сухоради, К.М. Бондар (*Jeleńska et al., 2008*). Геофізичні методи в завданнях археології дозволяють дослідити особливості

поширеності археологічного матеріалу в приповерхневій частині геологічного розрізу. Інтерпретовані геофізичні матеріали сукупно з даними аерофотозйомок, супутникових знімків, дистанційного зондування Землі є науковим підґрунтям для систематизації та обліку об'єктів культурної спадщини.



Рис. 1. Костел Матері Божої св. Розарія і св. Станіслава (Домініканський костел) у м. Чортків

Методика досліджень. Методична послідовність наукових робіт полягає в реалізації таких етапів досліджень:

- опрацювання архівних і літературних даних щодо історії створення костелу та його архітектури;
- опрацювання наявних геологічних та інженерно-геологічних матеріалів;
- проведення геофізичних досліджень та інтерпретація отриманих результатів;
- комплексний аналіз геологічної інформації в узгодженні з отриманими геофізичними даними;
- встановлення причин деформації будівлі костелу та розробка рекомендацій щодо стабілізації споруди.

Для створення моделі суміщення сучасного та давнього костелу використано такі документи: фрагмент військово-топографічних мап Галичини кінця XVIII ст. (1779–1783 рр.) із зображенням костелу, фрагмент кадастрової карти центральної частини м. Чортків 1859 р., проект розбудови костелу 1884, 1904, 1907 рр., давні фото костелу, креслення костелу та монастиря на планах міста Чортків 1939 р. та радянського періоду, креслення костелу та прилеглих території на сучасній мапі (*Ostrowski, 2009*).

Для геологічних побудов використано матеріали регіональних геологічних зйомок та детальних інженерно-геологічних вишукувань, зокрема наявні геологічні карти та розрізи, а також інженерно-геологічні колонки по свердловинах і шурфах, які пройдено на території, що прилягає до костелу (*Григель та ін., 2020*). На основі первинних

геологічних даних побудовано горизонтальні та вертикальні розрізи, узгоджені в плані з будівлею костелу.

Геофізичні дослідження виконано із залученням методів природного електричного поля (ПЕП), вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ), природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ), резонансно-акустичного профілювання (РАП) та георадарної зйомки (ГРЗ).

Методи ВЕЗ і ПЕП виконано за межами будівлі, по окремих профілях, а методи ПІЕМПЗ, РАП та ГРЗ – у межах будівлі в площинному варіанті, а також у профільному поза будівлею.

Для методу ПІЕМПЗ спостереження виконано на двох діапазонах частот: 2–16 кГц ("низький" діапазон) і 36–50 кГц ("високий" діапазон). Виміри здійснювались при трьох взаємоперпендикулярних напрямках антен X, Y, Z, оскільки геологічне середовище є неоднорідним і анізотропним. Задіяний діапазон частот надає можливість отримання інформації в інтервалі глибин від перших метрів до 17 м, при цьому розрахунковий інтервал глибин для високих частот передбачався в межах 3–4 м, тобто в інтервалі можливого розущільнення. Обробку даних виконано за методикою, запропонованою в (*Kuzmenko et al., 2017, 2018, 2020*).

Методика спостережень методом РАП полягала у вимірах акустичного сигналу в точках спостережень датчика (акусто-електричного перетворювача) за профілем (*Zuikov et al., 2011*). Георадіолокаційні дослідження

проводились за допомогою георадара ОКО-2. Ефективність підбору розгортки спостережень і визначення ефективної діелектричної проникності полягала в правильному поєднанні з результатами інженерно-геологічних вишукувань, унаслідок чого вдалось отримати достатньо чітку картину хвильового відбиття на глибину до 6 м.

Результати робіт.

Уточнення геологічної будови. У геоморфологічному відношенні територія досліджень належить до Південно-Західної частини Волино-Подільської височини. Тектонічну будову території визначає південно-західна окраїна Східноєвропейської платформи.

У стратиграфічному відношенні територія сформована породами силурійської, девонської та неогенової систем. Корінні породи перекарті алювіально-делювіальними четвертинними відкладами. Геологічний розріз, який дає уявлення про геологічні процеси в регіональному плані та про розташування гірських порід різного віку, представлено на рис. 2. З розрізу видно, що четвертинні утворення на похилій терасі річки Серет, де розташований костел, безпосередньо залягають на давніх девонських відкладах, вік яких оцінюється в 405–420 млн років. Дещо вище по схилу розташовані породи опільської світи неогену.

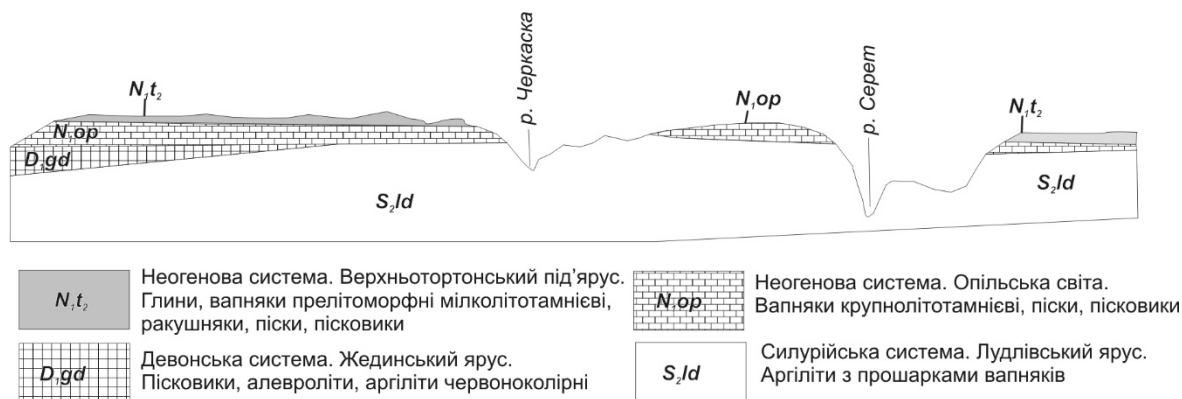


Рис. 2. Регіональний геологічний розріз

У результаті детальних геологічних досліджень верхня частина розрізу деталізована з виділенням інженерно-геологічних елементів. На рис. 3 зображено схематичний розріз по осьовій лінії костелу. З розрізу видно, що рельєф є похилим по осьовій лінії з перепадом висот приблизно у 2 м. Відповідно похилою є покрівля супіщано-суглинистих порід. Фундамент костелу заглиблений у ці породи, тобто розташований у супісках. Підлога костелу горизонтальна, тому вона з південно-західної сторони (зверху) "врізана" у знятий ґрунт, а з північно-східної сторони "знизу" – на підсипаній основі.

Ступінь обводнення гірських порід визначається літологічною будовою з відповідною наявністю водопроникних і непроникних порід і границь між ними, а також нахилом стоку. Гідрогеологічний розріз у верхній частині

складають два основних водоносних комплекси. Перший водоносний горизонт включає приповерхневі породи, насипний ґрунт, а також водопроникні супіски неогену. Для цього комплексу характерний єдиний рівень підземних вод РПВ I.

Підземні води першого водоносного комплексу (делювій та неогенові супіски) пов'язані з інфільтрацією поверхневих вод, що формуються за рахунок опадів, а також, можливо, за рахунок техногенних витоків. Далі по глибині простежуються неогенові суглинки, які є водотривом. Другий водоносний комплекс пов'язується з девонськими відкладами, які в приповерхневій частині порушені процесами вивітрювання і тому є колектором підземних вод, а починаючи з глибини близько 18 м є незмінними корінними породами – пісковики тріщинуваті водопроникні.

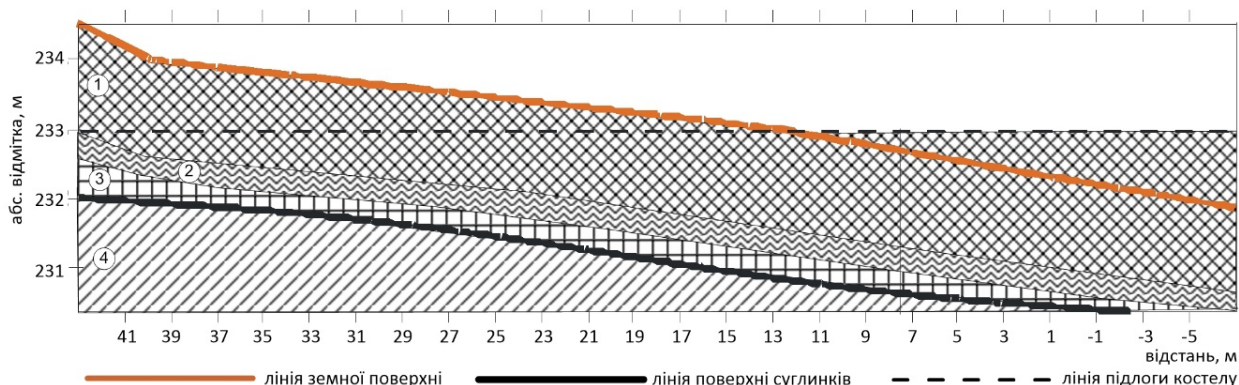


Рис. 3. Схематичний розріз по осьовій лінії костелу

Умовні позначення: 1 – насипний техногенний ґрунт – суглинок тугопластичний, м'якопластичний із включенням будівельних відходів; 2 – ґрунт чорноземний, суглинок тугопластичний, гумусований темно-сірий; 3 – суглинок тугопластичний із запливами гумусу, жовто-сірий; 4 – супісок тугопластичний, озалізнений, оглеєний, жовто-коричневий та жовто-сірий (глибина залягання від 2 м)

Аналіз результатів, отриманих методами ПЕП та БЕЗ. Розподіл потенціалів на карті площинної зйомки (рис. 4) свідчить про значне насичення ґрунту

поверхневими водами у дворіку костелу за рахунок опадів та подальший інтенсивний рух підземних вод зверху вниз. Навпроти костелу, за рахунок збільшення кількості

води, наближення приповерхневого водоносного горизонту до земної поверхні та підпору підземних вод у нижній частині схилу мурованою стінкою (чи дорожнім полотном), електричний потенціал значно збільшується за абсолютною величиною, набуваючи від'ємних значень. Відповідно до рельєфу земної поверхні та рельєфу покриття глинистих порід імовірна також фільтрація ґрунтових вод під підлогу костелу.

На рис. 4 зображено гіпотетичну схему руху приповерхневих підземних вод. Із розгляду схеми та попередніх розрізів випливає, що породи, на яких закладено фундамент костелу, належать до першого водоносного комплексу. Слід вважати доведеним фактом, що під костелом по горизонту супісків відбувається постійна фільтрація підземних вод. Ця фільтрація посилюється за рахунок дренавання підземних вод у шурфах розкопок та на ділянках з трав'яним покривом.

Глибинність методу ВЕЗ (15–20 м) дозволила закартувати шар глинистих порід, який за даними буріння відмічається як опорний і розглядається як сприятливий для розміщення в ньому фундаменту. За методом ВЕЗ підтверджено, що цей шар ділиться на два: зверху супісчані породи, а із глибини 4–9,5 – суглинисті. Під костелом ця межа на глибинах 4–4,5 м, що підтверджується результатами георадарної зйомки. Супісчаний шар є для води слабопроникним і водонасиченим, а суглинистий – непроникним. Це підтверджується наявністю води в будь-яку погоду в шурфах археологічних розкопок.

Уточнення місцезнаходження крипти. Наявність крипти, збудованої в давньому храму 1610 р., підтверджують архівні джерела (Ostrowski, 2009). Відповідно до традицій давніх часів крипта будувалась під вітарем або на ділянці, яка переходила з центру костелу до вітаря. Крипта та підземний хід до неї звичайно виконувались як ями та траншеї, які обмуровували та перекривали як споруди аничного типу. Тобто треба шукати пустоту зі стінами значної потужності, тому що в цих стінах мали б бути ніші для поховання визначних осіб, у тому числі засновника костелу С. Гольського та братів домініканців. Вхід до крипти був або за межами костелу, або всередині. За архівними даними під час перебудови костелу в 1908–1910 рр. вхід до крипти було замуровано.

На час наших досліджень даних щодо конкретного розташування крипти в архівах не збереглося. Достовірну інформацію щодо розташування крипти отримано під час досліджень методами георадарної зйомки (ГРЗ) та резонансно-акустичного профілювання (РАП).

Горизонтальні хвильові та амплітудні зрізи георадіолокаційних масивів даних вивчалися на предмет наявності аномалій хвильового поля з ознаками архітектурної побудови в геологічному середовищі. Перспективні об'єкти були виділені на різній глибині по формі аномального поля, відносному пониженню і затуханню сигналу. Тому якісна інтерпретація аномалій виконувалась на горизонтальних амплітудних зрізах із визначенням їх можливої природи. Водночас кількісні характеристики розраховувались за вертикальними хвильовими розрізами. Приклад диференціації за радіохвильовими параметрами наведено на рис. 5. На рисунку виокремлено аномальні зони, пов'язані з архітектурними будовами.

У цілому спостерігається інтегрована значна за розмірами аномалія в центрі храму (позначена червоною точковою лінією) з поворотом і продовженням на південь, яка, на наш погляд, пов'язана з криптою. Більш детальну характеристику надано на розрізах, що перетинають аномальне поле. Еліпсоподібна аномалія в північно-східній частині рисунку, що складається з 5 об'єктів, імовірно

пов'язана із залишками давнього цвинтаря за межами костелу до його реконструкції та розбудови.

На пошуки крипти, крім методу ГРЗ, був спрямований метод резонансно-акустичного профілювання. Результативними матеріалами методу РАП є діаграми амплітуд сигналу і часові розрізи. Як приклад на рис. 6 наведено діаграму амплітуд для двох окремих точок профілів. Ці діаграми дають уявлення, якими повинні бути відбиття у разі наявних підземних пустот, галерей, крипти та інших об'єктів. Діаграма з кривою 1 відповідає так званому фоновому полю, коли аномалій, пов'язаних із приповерхневими неоднорідностями у ґрунті, немає. Діаграма 2 характеризує наявність пустоти: у верхній частині спостерігаються два піки, які відображають покриття та підштову підземного ходу. Більш детальний аналіз виконується за результатами розгляду часових розрізів.

Кінцевим висновком комплексного розгляду результатів методів ГРЗ та РАП є схема, де суміщені контури давнього та реконструйованого костелів, а також закартованого підземного ходу та крипти (рис. 7). Як і слід було очікувати, ці штучні пустоти зосереджені у межах давнього фундаменту костелу. Підземні пустоти обмуровані та сухі. Крипта має розміри в площині 2,5×4,5 м. Вхід, імовірно, у проході з двору. Крипта розташована під давнім вітарем, що відповідає архівним джерелам.

Підлога підземного спорудження як для вхідної частини, так для власне крипти знаходиться на глибині 3,2 м. Щодо глибини стелі є відмінності: покриття знаходиться на глибині 0,6 м для крипти і на глибині 1,2 м для більш вузького входу.

Визначення ступеня напружено-деформованого стану гірських порід та елементів будівлі костелу. Ступінь напружено-деформованого стану гірських порід і споруд узгоджується з інтенсивністю природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). Як зазначалося, інтенсивність ПІЕМПЗ вимірювалась по трьох взаємно-перпендикулярних антенах E_x , E_y , E_z у діапазонах частот 36–50 кГц та 2–16 кГц. Найбільш диференційованим виявилось поле на високих частотах. Розрахована глибинність досліджень сягала 4 м. На низьких частотах поле за конфігурацією узгоджується з полем високих частот. Результати обробки на різних частотах візуалізовані і в даній статті представлені для

повного вектора інтенсивності $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ для діапазону частот 36–50 кГц (рис. 8). Для зручності опису аномалії або комплексу аномалій на рисунку пронумеровано від одного до п'яти – відповідно до причин, що зумовлюють аномалії. При цьому нижче описано аномалії підвищеної інтенсивності.

Аномалія 1. Виявлена в центрі костелу і територіально узгоджується з частиною аномалій ГРЗ та РАП над підземним ходом. Зі сходу обмежена виразною тріщиною на підлозі. Аномалії 2 обмежені тріщинами із заходу і сходу, тяжіють до крипти. На рисунках для низьких частот аномалії 1 і 2 об'єднуються в одну. Аномалії 3 притаманні основі південної та північної стінок будівлі у східній її половині. Полосоподібну аномалію 4 виявлено в західній частині "старої" будівлі 1610 р. Аномалія 5 у східній частині костелу в новобудові (1910 р.) під баштою найбільш значна за інтенсивністю і має яскраво виражений площинний характер. На ділянках всіх зазначених аномалій є тріщини на підлозі, які свідчать про напружено-деформований стан костелу. Такі ж тріщини спостерігаються на стінах над аномаліями 3. Отже, костел не є стабільним, тобто будівля костелу перебуває у фазі впливу додаткових механічних навантажень.

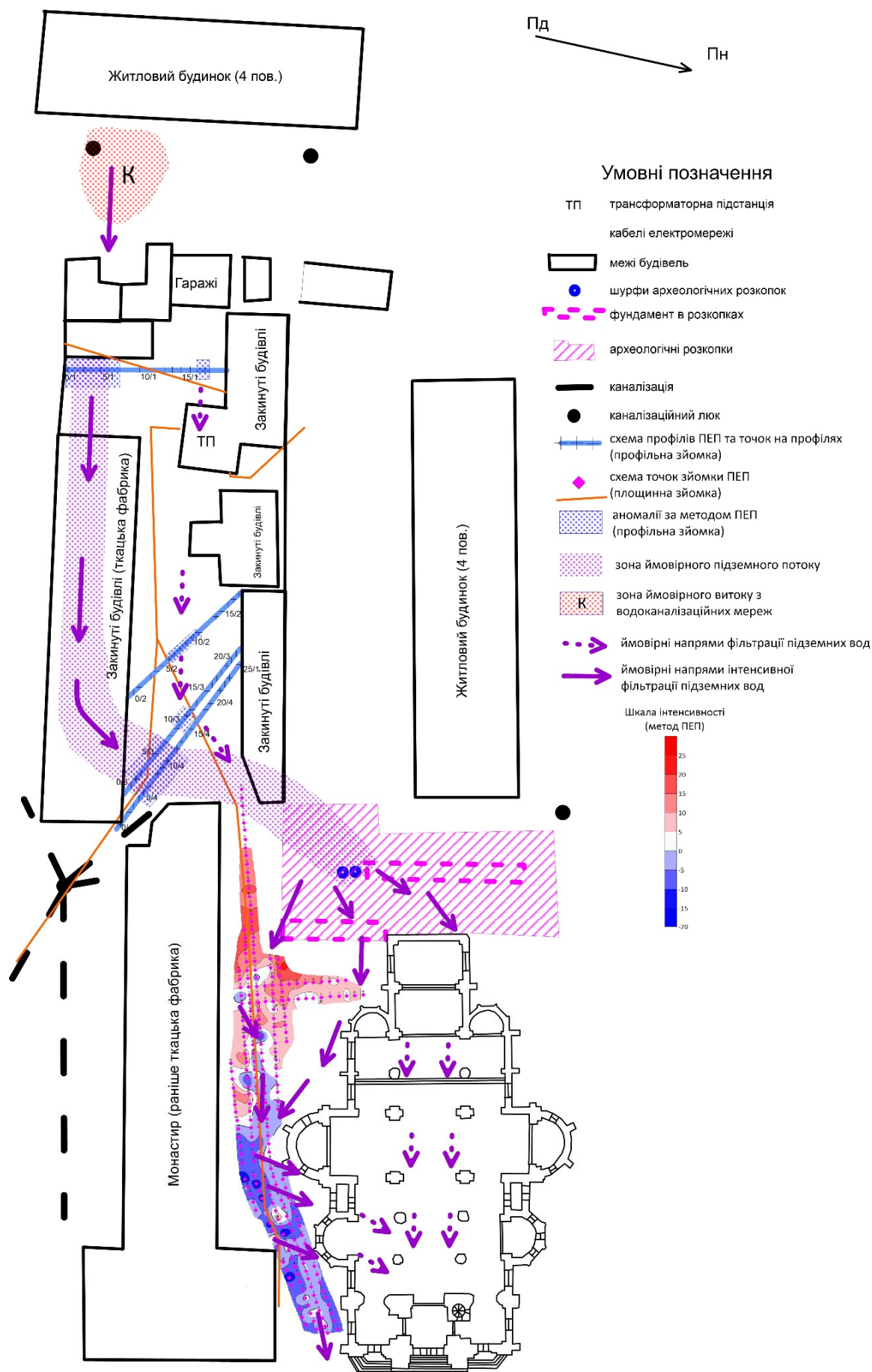


Рис. 4. Схема руху підземних вод

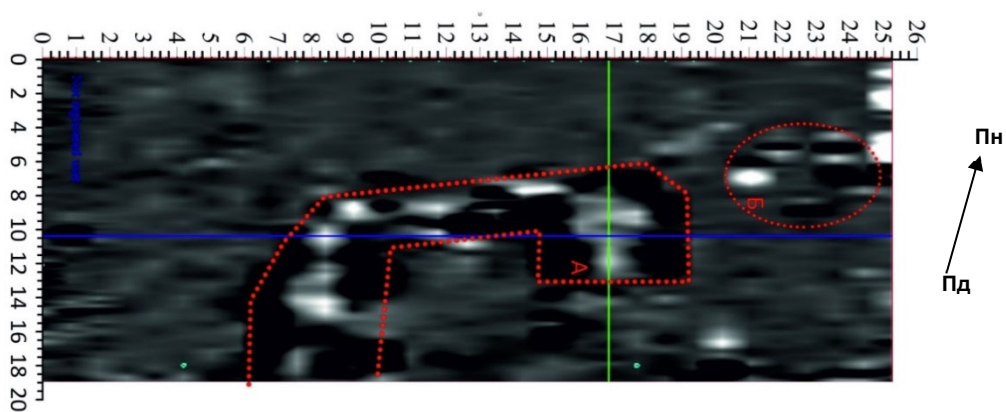


Рис. 5. Радіохвильовий розріз центральної частини території храму

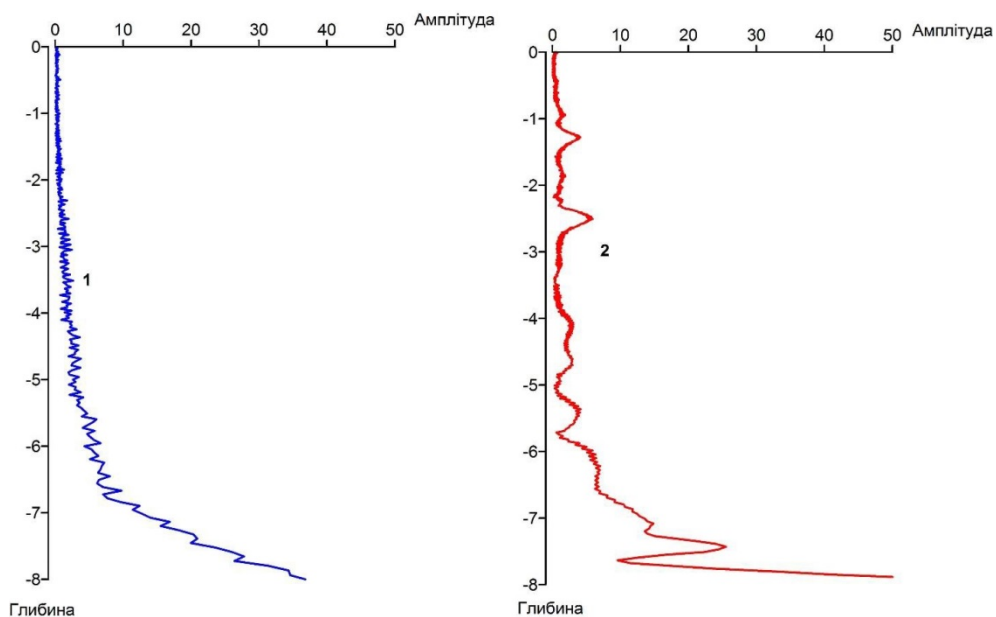


Рис. 6. Результативні матеріали за методом РАП

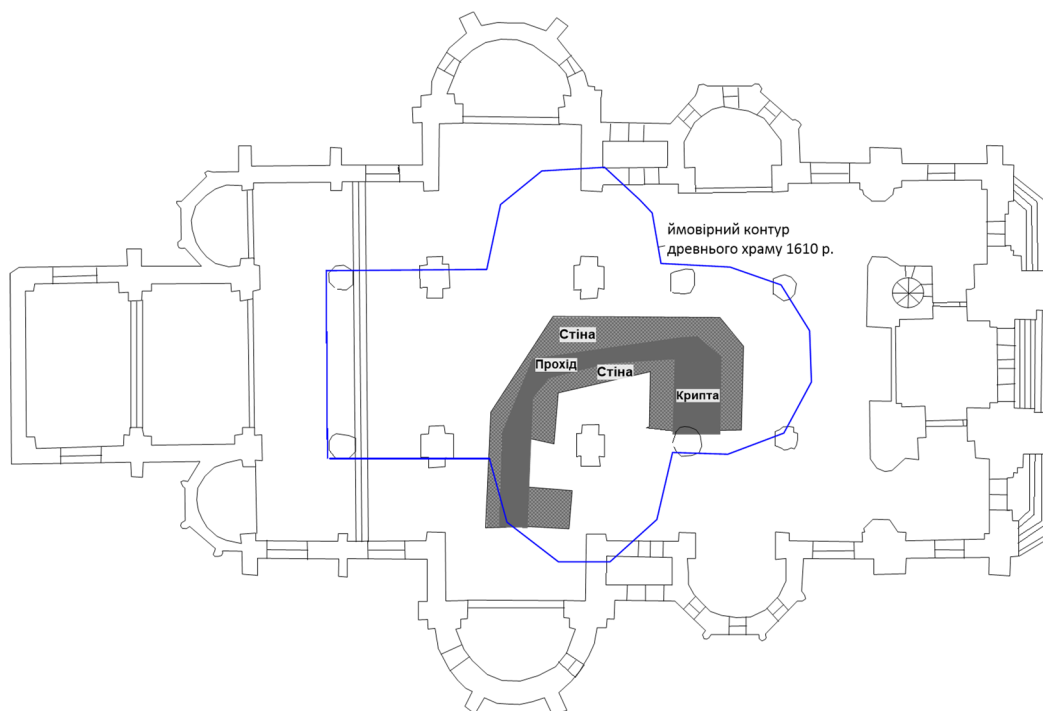


Рис. 7. Схема розташування підземного ходу та крипти

Для кращого розуміння процесів розвитку деформацій побудовано карту графіків інтенсивності ПІЕМПЗ по профілях, які паралельні довгій осі костелу. Карта графіків дозволяє не тільки розглядати розподіл аномалій по площині, а й корелювати їх та простежувати ідентичні елементи. Розгляд карти графіків приводить до таких висновків. На карті виділяються зони підвищених і понижених значень інтенсивності поля. Ці зони на рисунках визначаються смугами, які чергуються. Смуги аномалій паралельні поперечним тріщинам на підлозі костелу. Тому слід вважати, що такі смуги відповідають наявності зсувного процесу, коли зони стиску чергуються із зонами розтягування. Зокрема, зони аномалій підвищених значень ПІЕМПЗ – це зони активного

стиску. Зони аномалій понижених значень – зони розтягування. Границі аномалій ускладнені за рахунок впливу крипти та підземного ходу.

Визначення наявності екзогенних геологічних процесів. Візуальні спостереження території, що прилягає до костелу, дозволяють зробити висновок щодо наявності зсувних процесів і, відповідно, суфозії. Це виражається в хвиляподібному рельєфі дорожнього полотна на вулиці, яка проходить по схилу вниз до річки Серет паралельно костелу. Наявність такого рельєфу як одну з першочергових ознак зсуву зазначено в багатьох літературних джерелах, зокрема в працях Г.І. Рудька (Рудько та ін., 2006).

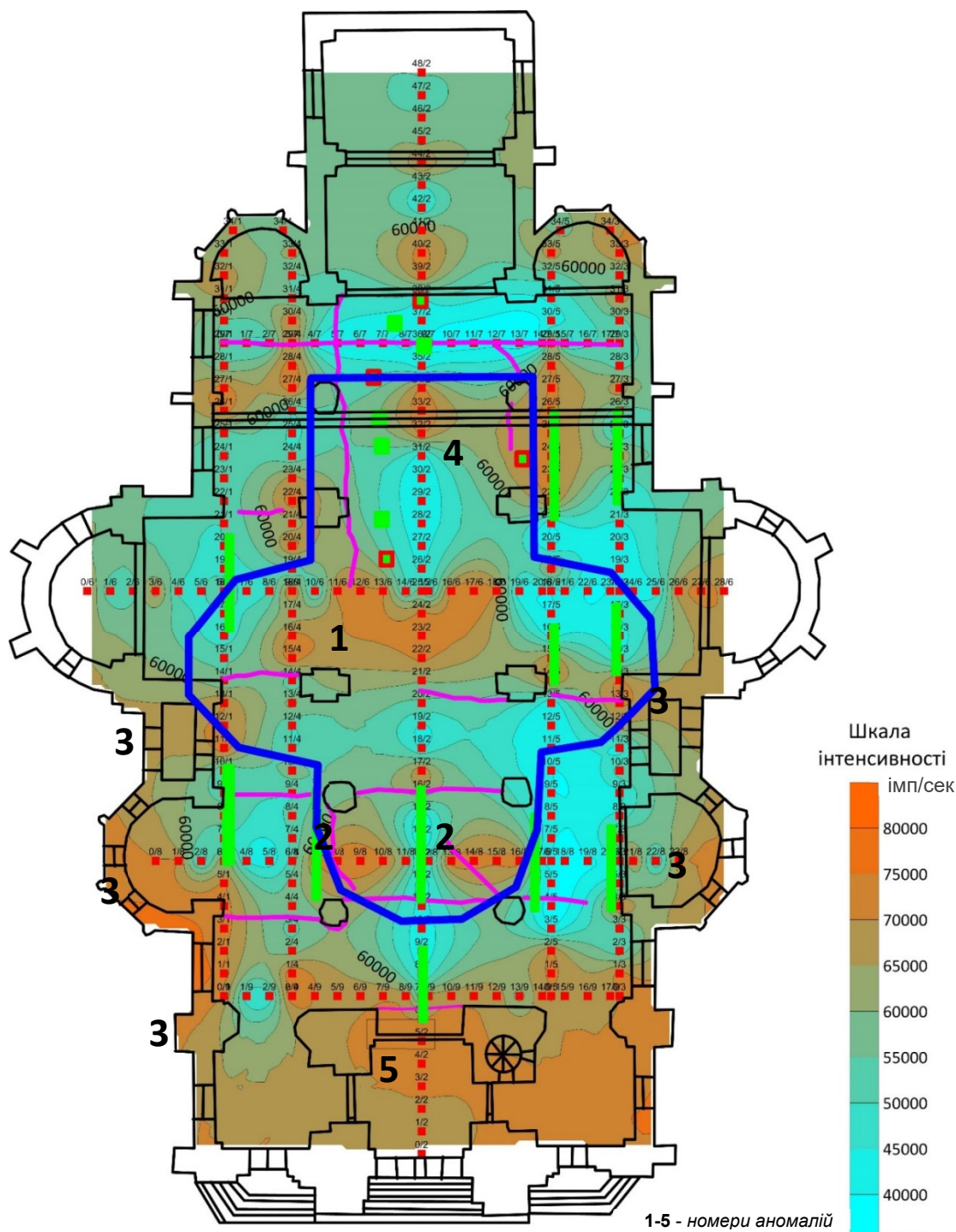


Рис. 8. Карта інтенсивності випромінювання електромагнітного поля

З геологічного погляду зсув пояснюється наявністю глинистих уволожених порід у верхній частині розрізу (Кузьменко та ін., 2012). Це природний фактор. Інтенсивний рух транспорту є штучним техногенним фактором, який ініціює та активізує зсувні процеси. Слід відмітити ознаки зв'язку візуально спостереженого зсувного процесу з деформаціями будівлі костелу. Зокрема, на вул. С. Бандери спостерігаються "зсувні хвилі", спрямовані в сторону костелу. Проекції цих "хвиль", а саме їх подальше просторове продовження стінки відриву збігається з положенням тріщин на бічній стіні, яка звернена в бік вулиці. Ці тріщини унаслідуються в підлозі. Їх напрямком поперек схилу збігається з напрямком стінки відриву зсуву та подальшим простяганням хвиль деформації, тобто зсувних сходинок.

У геофізичному полі природного імпульсного електромагнітного поля Землі виділяється ділянка в нижній частині костелу надзвичайно високої інтенсивності

випромінювання. Слід вважати, що причиною її є активні динамічні деформації (рис. 9). Ця ділянка корелює із зсувом поза межами костелу. Тобто цей зсув простягається і під костел. Отже, зіставлення візуальних спостережень зсуву та геофізичного поля ПІЕМПЗ свідчить на користь нашої гіпотези розвитку зсуву.

Незаперечним підтвердженням видавлювання та сповзання глинистих порід під нижньою (східною) частиною будівлі костелу є зміна положення з часом масиву глинистих порід щодо земної поверхні, яке нами відмічено на основі аналізу ізоліній рельєфу та ізоліній залягання покрівлі глинистих порід.

Отже, однією з причин деформації будівлі костелу є зсувні процеси та просідання. Поряд з природними факторами (геологічна будова), незаперечним є фактор техногенного впливу, а саме силове (механічне) навантаження на схил завдяки руху транспорту, а також уволоження гірських порід.

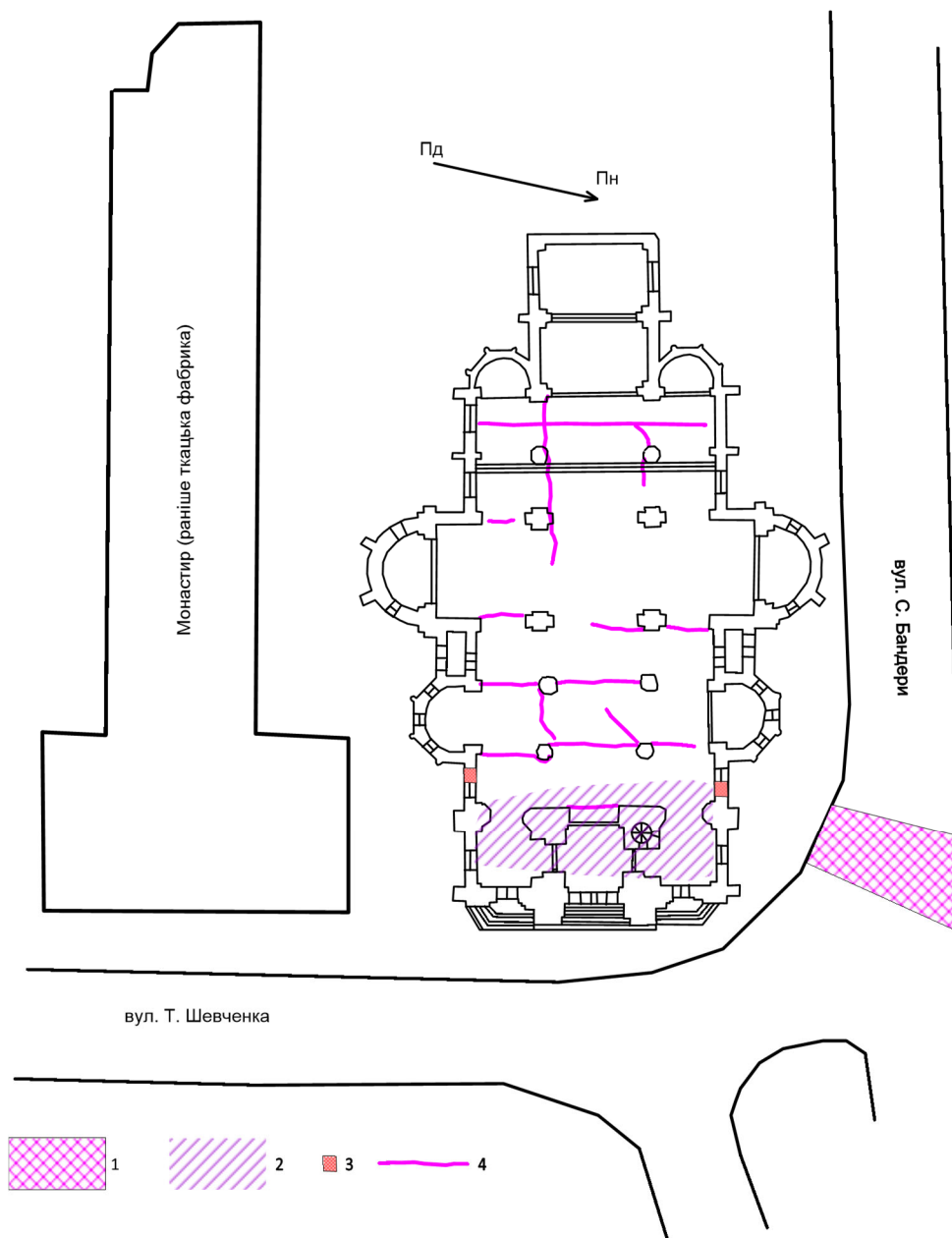


Рис. 9. Схема розташування зсуву

Умовні позначення: 1 – хвилоподібні деформації дорожнього полотна; 2 – аномалії ПІЕМПЗ, що відповідають зсуву; 3 – тріщини в стінах; 4 – тріщини в підлозі

Висновки. Домініканський костел Матері Божої св. Розарія та св. Станіслава, який розташований в місті Чортків Тернопільської області, є визначною культовою спорудою та архітектурною пам'яткою стилю пізньовісленської готики. На сьогодні це дієвий деканальний храм Чортківського деканату Римсько-католицької церкви в Україні.

1. Передумовою виконання науково-дослідних геолого-геофізичних робіт на території Домініканського костелу та на прилеглих ділянках є деформації окремих елементів будівлі костелу, які виражаються в наявності тріщин на підлозі костелу та його стінах, а також у підтопленні нижньої частини костелу під час інтенсивних опадів.

2. Дослідженнями встановлено факт напружено-деформованого стану будівлі костелу, що відображено у підвищенні рівня інтенсивності імпульсного електромагнітного поля Землі, яке відповідає силовим навантаженням на будівельні елементи та їх динамічному розвитку. Зазначені навантаження чергуються за схемою стиск-розтягнення, вниз по схилу, що звичайно відповідає зсувним процесам.

3. Однозначно встановлено наявність яскраво вираженої аномальної зони підвищеного напружено-деформованого стану в нижній частині костелу, яка пов'язана з розвитком зсувних процесів у гірських породах, спрямованих вниз по схилу до річки Серет. Зазначена зсувна зона візуально відображена у хвилеподібному рельєфі дорожнього полотна по вулиці, яка прилягає до костелу. Рух транспорту вулицею є вагомим фактором активізації зсуву.

4. Однією з причин інтенсифікації повзучості гірських глинистих приповерхневих порід та зменшення їх міцності є зволоження схилу, яке відбувається через: наявність природної фільтрації підземних вод вниз по схилу до костелу; розкопи вище костелу та наявність штучних дренажних ям, з яких під фундамент дренається вода; наявність дворику попри стіну костелу, де нагромаджене під рослинним покривом "будівельне сміття", в яке інфільтруються і по якому фільтруються підземні води. Останнє підтверджено наявністю інтенсивного поля електричних фільтраційних потенціалів, даними буріння та електричних зондувань.

5. Під підлогою костелу геометризована за розмірами крипта, підземний хід, що веде до неї, а також стіни крипти. Пустоти виявлені за методами георадарного зондування та резонансного акустичного профілювання. Крипта у задовільному стані; завдяки стінам та арочному перекриттю вона не затоплена. На цілісність будівлі костелу наявність крипти не впливає.

6. За даними науково-дослідних робіт сформовано першочергові заходи щодо стабілізації будівлі костелу, серед яких є:

- припинення руху по ділянках вулиць, що прилягають до костелу, планування цих вулиць та перетворення їх на пішохідну зону;

- протифільтраційні заходи із запобіганням поглинання води гірськими породами, у тому числі археологічними спорудами, та побудовою непроникної стіни в ґрунті.

7. Подальші дослідження стосуються налагодження системи моніторингу з використанням геофізичних методів та режимних топогеодезичних спостережень.

Список використаних джерел

- Бондар, К.М., Дараган, М.М., Прилуков, В., Полін, С.В., Цюпа, І.В., Діденко, С.В. (2019). Магнітометрія скіфського курганного могильника Катеринівка у Нижньому Подніпров'ї. *Геофізичний журнал*, 41, 134-152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172438>.
- Бондар, К.М., Хоменко, Р.В., Чернов, А.П., Кукса, Н.В. (2020). Результати георадарного обстеження Ільїнської церкви — усыпальниці Богдана Хмельницького в Субботові. *Геофизический журнал*, 3 (42), 175-194. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204709>

Григель, Д.І., Кітура, В.М. (2020). Заключення за результатами технічного обстеження споруди Домініканського костелу в м. Чортків Тернопільської області. Тернопіль.

Дудкін, В.П., Кошелев, І.Н. (1999). Методы комплексной интерпретации результатов магнитометрической съемки археологических памятников. *Археометрия и охрана историко-культурной наследия*, 3, 11-24.

Загний, Г.Ф. (1979). Структура археологических вариаций геомагнитного поля на Украине и в Молдавии за последние 5500 лет. *Дисс. ... канд. физ.-мат. наук*. Ин-т геофиз. АН УССР. Киев

Загний, Г.Ф., Круц, В.А., Русаков, М. (1971). Опыт применения протонного магнитометра в археологии. *СА*, 3.

Кузьменко, Е., Багрий, С., Чепурний, І., Штогрин, М. (2017). Оцінка небезпеки приповерхневих деформацій гірських порід у межах Стебницького калійного родовища методом ПІЕМПЗ. *Геодинаміка*, 22, 98-113. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.098>.

Кузьменко, Е.Д., Чепурний, І.В., Нікітас, О.О., Штогрин, Л.В. (2012). Довгостроковий прогноз зсувної активності на території правобережжя Київського водосховища. *Геодинаміка*, 1(12), 93-102. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.093>.

Орлюк, М., Ролле, Р., Роменец, А., Ульрих, Б., Цольнер, Х. (2016). Микромангитная съемка Большого Бельского городища скифского времени, Полтавская область. *Геофизический журнал*, 5(38), 25-39.

Рудько, Г.И., Ерыш, И.Ф. (2006). Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты). Монография. Киев: Задруга.

Annan, A.P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications*. Sensors and Software, Mississauga, Ont., Canada.

Atkinson, R.J.C. (1953). *Field Archaeology*. 2nd ed., London.

Belshé, J. C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics*, 6(22), 192-193.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Bondar, K., Matviishina, Zh. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012-1033. <https://doi.org/10.2478/S11600-008-0036-8>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2018). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENEMF). *Journal of Geology, Geography and Geology*, 27 (3), 466-477. <https://doi.org/10.15421/111870>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2020). Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 79-88. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.

Ostrowski, J.K. (2009). Kościół i klasztor rzymskokatolickie dawnego województwa ruskiego. *Praca zbiorowa*, tom 17, 900.

Panissod, C., Dabas, M., Jolivet, A., Tabbagh, A. (1997). A novel mobile multipole system (MUCEP) for shallow (0-3 m) geoelectrical investigation: the "Vol-de-canards" array. *Geophys. Prospect*, 45, 983-1002.

Papadopoulos, N.G., Tsokas, G.N., Dabas, M., Yi, M.-J., Kim, J.-H., Tsourlos, P. (2009). Three-dimensional inversion of automatic resistivity profiling data. *Archaeol. Prospect*, 16, 267-278.

Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris A., and Fassbinder J. (2015). Guidelines for the use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider. *Namur: Europae Archaeologia Consilium (EAC)*.

Zuikov, I.V. and Bedinov V.V. (2011) Application of the Resonance-Acoustic Profiling method for engineering and geological surveys. *Engineering Survey*, 11, 52-58.

References

- Annan, A.P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications*. Sensors and Software, Mississauga, Ont., Canada.
- Atkinson, R.J.C. (1953). *Field Archaeology*. 2nd ed., London.
- Belshé, J. C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics*, 6(22), 192-193.
- Bondar, K.M., Daragan, M.M., Prylukov, V., Polin, S.V., Tsyupa, I.V., Didenko, S.V. (2019). Magnetometry of the Scythian mound cemetery Katerynivka in the Lower Dnieper. *Geophysical Journal*, 41, 134-152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172438>. [in Ukrainian]
- Bondar, K.M., Khomenko, R.V., Chernov, A.P., Kuksa, N.V. (2020). Results of the georadar survey of the Ilyinsky Church - the tomb of Bohdan Khmelnytsky in Subbotov. *Geophysical Journal*, 3 (42), 175-194. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204709>. [in Russian]
- Dudkin, V.P., Koshelev, I.N. (1999). Methods of complex interpretation of results of magnetometric survey of archaeological monuments. *Archaeometry and protection of historical and cultural heritage*, 3, 11-24. [in Russian]
- Grigel, D.I., Kitura, V.M. (2020). Conclusion based on the results of the technical inspection of the building of the Dominican Church in Chortkiv, Ternopil region. Ternopil. [in Ukrainian]
- Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kądziałko-Hofmokl M., Kopcewicz B., Sukhorada A., Bondar K., Matviishina Zh. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012-1033. <https://doi.org/10.2478/S11600-008-0036-8>.
- Kuzmenko, E.D., Chepurny, I.V., Nikitash, O.O., Shtohryn, L.V. (2012). Dvohostrokovy prognos zsuвної aktivnosti na terytorii Pravoberezhzhia Kyivskoho vodoshovyshcha. *Geodynamics*, 1(12), 93-102. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.093>. [in Ukrainian]

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2018). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geology*, 27 (3), 466-477. <https://doi.org/10.15421/111870>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2020). Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 79-88. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Chepurnyi, I.V., Shtohryn, M. (2017). Estimation of hazards of the surface deformations of rocks within Stebnyk potassium salt deposit area by method ENPEMF. *Geodynamics*, (22), 98-113. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.098>. [in Ukrainian]

Orlyuk, M., Rolle, R., Romenets, A., Ulrich, B., Zolner, H. (2016). Micromagnetic survey of the Great Bielsko settlement of the Scythian period, Poltava region. *Geophysical Journal*, 5(38), 25-39. [in Russian]

Ostrowski, J.K. (2009). Kościoły i klasztory rzymskokatolickie dawnego województwa ruskiego. *Praca zbiorowa*, tom 17, 900.

Panissod, C., Dabas, M., Jolivet, A., Tabbagh, A. (1997). A novel mobile multipole system (MUCEP) for shallow (0-3 m) geoelectrical investigation: the 'Vol-de-canards' array. *Geophys. Prospect*, 45, 983-1002.

Papadopoulos, N.G., Tsokas, G.N., Dabas, M., Yi, M.-J., Kim, J.-H., Tsourlos, P. (2009). Three-dimensional inversion of automatic resistivity profiling data. *Archaeol. Prospect*, 16, 267-278.

Rudko, G.I., Yerysh, I.F. (2006). Landslides and other geodynamic processes of mountain-folding regions of Ukraine (Crimea, Carpathians). Monograph. Kiev, Zadruga. [in Russian]

Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris A., and Fassbinder J. (2015). Guidelines for the use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider. Namur: Europae Archaeologia Consilium (EAC).

Zagniy, G.F. (1979). The structure of archeological variations of the geomagnetic field in Ukraine and Moldova over the last 5500 years. *Thesis ... Cand. Sci. (Phys.-Math.)*. Inst. of Geophysics. USSR Academy of Sciences. Kyiv. [in Russian]

Zagniy, G.F., Kruts, V.A., Rusakov, M. (1971). Experience in using a proton magnetometer in archeology. *SA*, 3. [in Russian]

Zuikov, I.V. and Bedinov V.V. (2011) Application of the Resonance-Acoustic Profiling method for engineering and geological surveys. *Engineering Survey*, 11, 52-58.

Надійшла до редколегії 18.03.22

E. Kuzmenko¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;
V. Maksymchuk², Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,

E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;
I. Chepurnyi¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: igor.chepurnyi@gmail.com;

S. Bagriy¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: gbg2020@ukr.net ;
O. Romaniuk², PhD (Geol.),

E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;
R. Kuderavets², PhD (Geol.),
E-mail: romankuderavets@gmail.com;

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine;

²Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
3-b, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

DOMINICAN CHURCH IN CHORTKIV: GEOLOGICAL CONDITIONS, THE CRYPT GEOMETRIZATION, THE BUILDING STABILIZATION

The article is devoted to the results of geological and geophysical research conducted on the territory of the Dominican Church in Chortkiv, Ternopil region to determine the stress-strain state of building elements and search for voids and compaction zones in the subsurface soil layer.

Research methods were methods of natural pulsed electromagnetic field of the Earth, vertical electric sounding, natural electric potentials, radio wave acoustic profiling, and georadar sounding.

The reasons for the development of dangerous processes that negatively affect the condition of the church building are identified and analyzed. It is established that the causes of these deformations are the geological structure of the rocks on which the church is built, the slope of the terrain, natural soil moisture, heavy traffic and the creation of additional sources of water infiltration.

Keywords: engineering-geological conditions, stress-strain state, geophysical researches, deformations, archeology.

UDC 550.3:551:534.8

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.07>

M. Abdulla-zada, PhD student, Researcher,
E-mail: murad.abdullazade@asoiu.edu.az;
Azerbaijan State University of Oil and Industry,
34 Azadlig Ave., Baku, Azerbaijan

GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF SEISMIC REFLECTIONS IN THE SEDIMENTARY COVER OF THE EASTERN PART OF THE ABSHERON-PREBALKHAN RIDGE

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

The Absheron-Prebalkhan tectonic zone, often called as the Absheron-Prebalkhan ridge, is a link between two large oil and gas basins of the world, which differ in the genetic level of the basement, i.e.: the South Caspian (SCB) and the Middle Caspian basins (MCB). The considered area has been completely covered by detailed seismic and gravity surveys over the past decades.

The article presents material illustrating the information content of seismic sections in different parts of the region, which are characterized by different seismogeological conditions. As a result of the analysis of the latter, the author specified and determined four seismic horizons: SH-A (Akchagyl), SH-I (tops of RS), SH-II (horizon VIII) and SH-III (lower RS) based on the dynamic expressiveness, length, and resolution of the record. The tracking quality of these horizons is not the same.

The identification of seismic intervals, which correspond to structural levels based on objectively determined seismic parameters, such as the configuration and relative position of reflections, their continuity, as well as the amplitude and frequency of seismic waves were the basis for seismic stratigraphic analysis of the wave field.

The compiled schematic structural maps show the geological structure of the red-colored strata and Akchagyl deposits and the correlation of the structural plans of the latter clearly. Comparison of complex geological and geophysical materials allows to determine the character of the distribution of lithofacies features of RS deposits.

Keywords: Absheron-Prebalkhan tectonic zone, ridge, red-colored strata, seismic stratigraphic analysis, horizon, interpretation

Articulation of the problem. A sharp jump in exploration for hydrocarbons in deep water areas has been observed over the past 10 years, which is mainly due to the risks associated with the prices of fossil fuels in the world market (Bell et al., 2005; Skogdalen and Vinnem, 2012; Reader and O'Connor, 2014; Joye, 2015). In this regard, it is considered very important to carry out purposeful deep drilling in places where oil and gas promising objects are located that have sufficient profitability for exploitation. Therefore, the applied task is the acquisition of high-quality seismic material and the competent interpretation of the seismic record in it, which is of great practical importance for choosing the directions and methods of geological

exploration for oil and gas. The main condition for the maximum reliability of geological information is the complexity of the work and the interpretation of the materials.

The junction zone of the South Caspian (SCB) and the Middle Caspian basins (MCB), which is the main oil and gas generating component of the region, has been an object of research for more than decades. The SCB, in which the Absheron-Prebalkhan tectonic zone is developed, arose and is evolving within the Alpine-Himalayan orogenic belt. The sedimentary filling of the SCB in some places remains relatively undeformed in comparison with the neighboring Caucasian, Kopet Dag and Elburz fold-thrust complexes (Fig. 1).

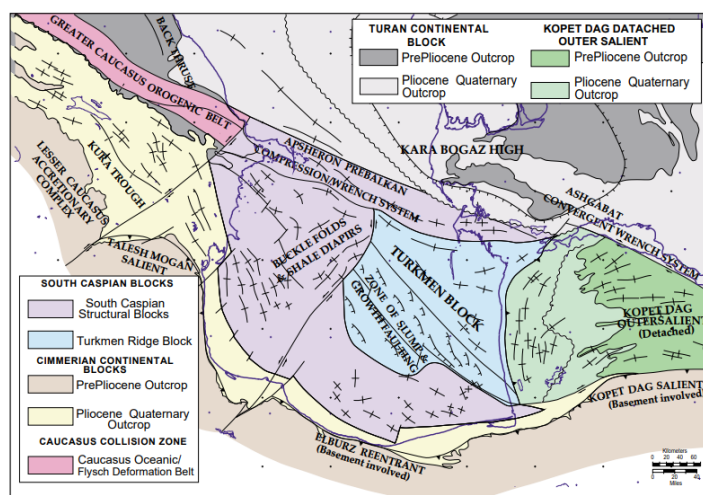


Fig. 1. Structural elements of the South Caspian Basin and adjacent areas (modified from Philip et al., 1989; Berberian and King, 1981; Adamia et al., 1977; Nalivkin, 1976; Huber, 1978 with additions).

The section of the sedimentary cover of the convergence zone is characterized by the presence of sharply expressed in length, in-phase correlated reflections, which make it possible to mark the key horizons (dynamically most expressed, but poorly regular), which are quite long, up to many hundreds of kilometers. However, irregular (i.e. poor discontinuous, chaotic, dashed, etc.) reflections also dominate in the section of the latter. In addition, the wave field distorts reflections of a non-geological nature

significantly – interference (i.e. diffraction, multiple energy, etc.), as well as reflections from fluid contacts, tectonic dislocation and developed mud volcanism. Seismic stratigraphic interpretation of the wave field by the nature of the manifestation of reflected waves on time sections is a powerful tool for establishing the genesis of geodynamic processes and deposition environment.

Seismic stratigraphic analysis is based on the assumption that seismic reflections follow depositional surfaces and

© Abdulla-zada M., 2022

erosional unconformities and therefore have chronostratigraphic significance (Vail *et al.*, 1977). Based on the generalization of seismic stratigraphic analysis materials, it is assumed that the ensembles of events of reflected waves characterize the sections of sedimentary bodies and allow to assess their stereoforms ("seismic record pattern").

Diagenetic processes in sedimentary systems change the pore space and mineralogy of primary sediments significantly, thereby affecting their acoustic properties (Eberli *et al.*, 2003). So, it is necessary to study the paragenetic relationship of reflections carefully to substantiate the main position of the seismic stratigraphic method a priori for any sedimentological and stratigraphic interpretation of seismic data.

Tectonics and stratigraphy of the region. The Absheron-Prebalkhan tectonic zone, which is called the Absheron-Prebalkhan ridge, has been the subject of study by many researchers for almost a hundred years. This area is of the greatest interest since it is located between the two well-known oil and gas regions of Absheron and Cheleken.

It is well known that it is necessary to find out the formation mechanism of the Absheron-Prebalkhan ridge in particular and the SCB as a whole to determine the zone of oil and gas generation correctly. Predominantly fixed views regarding the solution of this problem prevailed until the 1970s. However, the emergence of a new mobilist concept made it possible to consider this problem from new positions.

Today, there is no common idea on the geodynamic setting, time, and mechanism of site, as well as the oil and gas occurrence of the SCB. A large number of geological and geophysical works were previously carried out within the megabasin and in the mountain-fold structures surrounding it in the central segment of the Alpine-Himalayan orogenic belt, as a result of which various schemes of geodynamic and geotectonic models were developed to solve these problems from the point of plate tectonics concepts (V.P. Rentgarten, O.G. Sorokhtin, V.Y. Khain, Y.Y. Milanovsky, L.P. Zonenshain, M.G. Lomize, E.N. Khalilov, P.Z. Mamedov and others).

The study of the geological structure of the Absheron ridge was started by the classics of Russian and Soviet geology G.V. Abikh, A.F. Karpinsky, A.D. Arkhangelsky, N.I. Andrusov and others. A systematic study of the geological structure of the work area was carried out by all types of geophysical surveys, as well as exploratory and deep exploratory drilling (exploratory drilling in the offshore areas of the region has been carried out since the 40s). The Absheron-Prebalkhan ridge, which is an integral part of the Mediterranean-Alpine belt and developed in the SCB and MCB convergence zone, is characterized by a peculiar, thin consolidated crust (6-8 km) and a thickened sedimentary cover, which is built on a tectonic-mosaic geological foundation. The sedimentary series of the region, which lies on the pre-Jurassic basement, is represented by the Mesozoic and Cenozoic structural-lithological stages with a thickness of 25-32 km. The latter includes the Paleogene-Miocene and Pliocene-Quaternary structural-facies complexes.

The Absheron-Prebalkhan ridge is morphologically divided into 2 anticline belts. The first includes the Tengi-Beshbarmag and Germian mega-anticlines in the west and extends to the east, adjoins the Cheleken group of uplifts (structures: Guneshli, Chirag, Azeri, Kapaz, Magtumlulu, Diyarbekir, Turkmenabad, Cheleken gumma, etc.). The second anticline belt originates from the Gadis-Nardaran mega-anticline in the west and extends in a near-latitudinal direction (structures: Nardaran-deniz, Khali, Chilov, Hazi Aslanov, Palchig Pilpilasi, Neft Dashlari, Oghuz, Jeytun). Altigaj-Kukrkechidag and Aladash-Yunusdag mega-anticlines form the third anticline belt like a folded ridge by

stretching from west to east in a near-latitudinal direction. This belt includes the structures of Gurgan-deniz, Janub, etc. besides the western local structures located in the northern part of the Absheron Peninsula.

The stratigraphic range of sedimentary occurrences throughout the section of the Absheron-Prebalkhan ridge is filled with deposits of the Meso-Cenozoic age. It should be noted that in view of the fact that the studied region is included in the zone of interests of the two energy powers, there are discrepancies in the names of stratigraphic units.

The Mesozoic group is represented by Jurassic and Cretaceous sediments in the APR sedimentary cover, which are lithologically expressed by aspidic schist with series of sandstones, siltstone, and limestone (J) and alternating gray, greenish-gray clays, marls with thin interlayers of fine-grained sand with inclusions of calcareous substances (K).

The Cenozoic group includes Paleogene, Neogene, and Quaternary sediments.

The Paleogene system is represented by three divisions: the Paleocene, the Eocene and the Maikop suite (Oligocene-Lower Miocene). The lithological composition is predominantly composed of clayey lithofacies, alternation of clays and siltstones, interlayers of dense sandstones and sands and locally marl and marl clays.

The Neogene system is represented by two divisions: Miocene and Pliocene deposits. The Miocene deposits are lithologically expressed mainly by clayey lithofacies, gray marls (Tarkhan horizon), a series of layered clays with rare interlayers of brown dolomites, hard marls (Chokrak horizon), clays with interlayers of dense dolomites and volcanic ash (Upper Miocene).

The Pliocene (lower and upper) is widely developed in the water area of the Absheron ridge. Lower Pliocene deposits, which are associated with large deposits of Azerbaijan and Turkmenistan, spread throughout the study area. They have been encountered by numerous wells here and studied for one or another thickness in almost all APR structures. The deposits of the Lower Pliocene in the Azerbaijani part of the water area are represented by the Productive series (PS), its analogues (temporary and facies) in the Turkmen part of the Caspian Sea are the deposits of the Red-colored strata (RS).

As it is known from the literature, the PS is divided into upper and lower sections.

5 formations are distinguished in the deposits of the lower part of the PS (Kalinskaya-KaS, Podkirmaki-PK, Kirmaki-KS, Nadkirmaki sandy-NKS, Nadkirmaki clayey-NKC).

KaS. They consist of sandy-clayey facies in almost all areas of the distribution range. The content of sands in KaS increases to the southeast from the Absheron Peninsula.

PK. It is more widely distributed than the underlying KaS. It is represented by a thick layer of uneven-grained quartz sands with rare interlayers of dense gray clays.

KS. It is quite thick, consistent in its lithological composition and thickness and it is a series of fine sandy-clayey alternation.

NKS. It is developed throughout the APR. It consists of a series of medium- and coarse-grained quartz sandstones and sands with thin interlayers of clays. The deposits of the NKS suite are composed of almost 90% sandy rocks.

NKC. It is an alternation of black and brown clays with inclusions of sand and fine and fine-grained, there are also interlayers of dense sandstones. The number of sand layers increases to the east of the APR.

The upper section of the PS is represented by the "break" suite, Balakhani, Sabunchu and Surakhani suites, expressed by sandy-clayey alternation.

Lower Pliocene deposits within the Turkmen shelf are represented by two sections: lower (PRS) and upper (RS). The PRS is lithologically represented by sandy-argillaceous deposits. General decreasing tendency is observed in the thickness of the PRS deposits from west to east. However, deposits of RS are all-around developed in the southeastern Caspian and its near edge zone. It consists of alternating sandy-siltstone and clayey rocks with different colors.

The Upper Pliocene is ubiquitously represented by the Akchagyl Stage, a lithologically pronounced alternation of

sandy and clayey occurrences (grey, brownish, and greenish gray clays) with inclusions of volcanic ash.

The Quaternary system is also represented by two divisions: Pleistocene and Holocene. It is lithologically expressed by sandy-shell rocks and dense limestones (Absheron stage), sands, clays, and rare layers of volcanic ash. A summary correlation section is shown along the study area by illustrating the distribution area of the Cenozoic group of deposits visually within the line (I-I') of the profile below, in Figure 2.

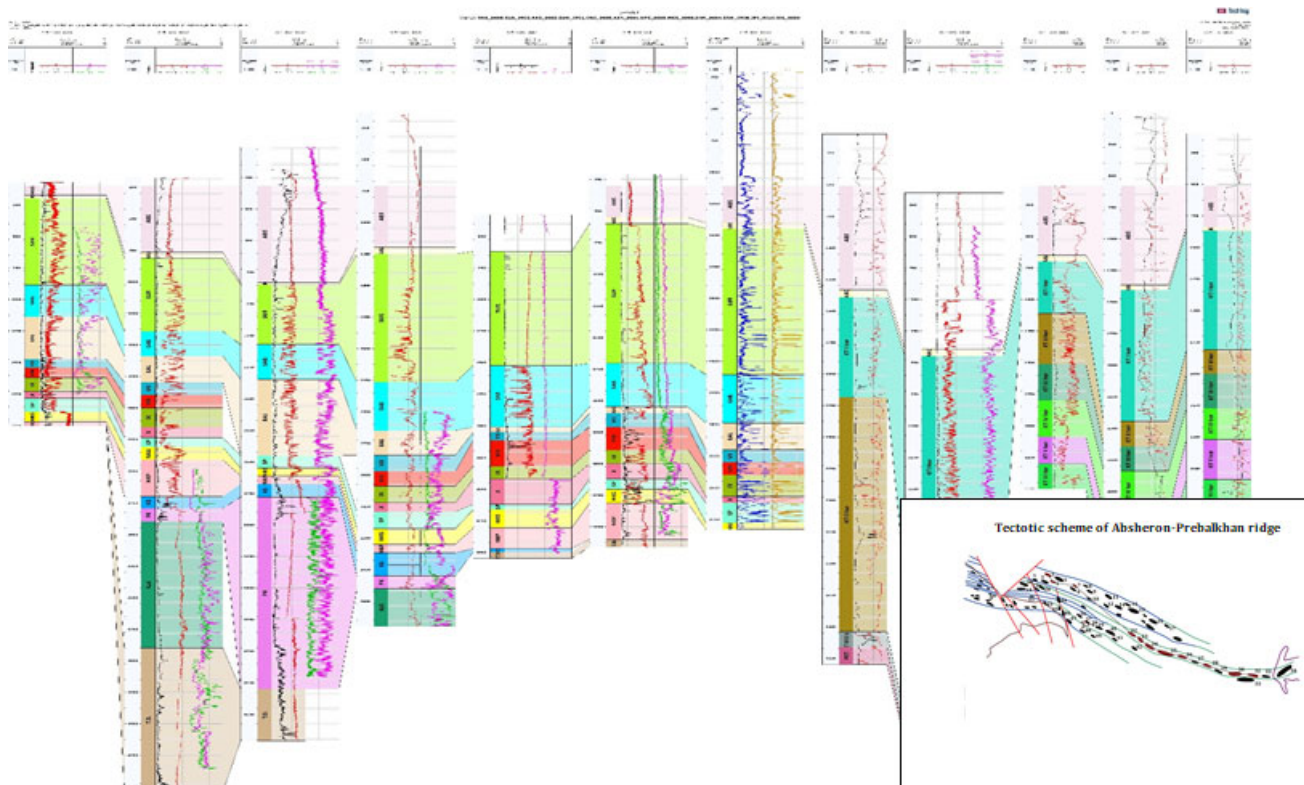


Fig. 2. Summary correlation scheme along the line (I-I')

Interpretation of seismic data. Informativeness of time sections. The study area is characterized by very complex seismogeological conditions (disjunctive folding, mud volcanism), which determines the complex character of the wave field. Apparently, the change of the character of the wave field is also associated with deep conditions – structural and lithofacies in terms of area and depth.

The wave picture reflects depositional termination in the Absheron suite, regular bedding in the RS with increasing dip angles with depth and in general, regular bedding of reflecting horizon in the sediments of underlying RS in the eastern part of the area (structures: Dostlug, Mashrikova, Magtimgulu, etc.).

Time sections according to the wave picture can be conditionally divided into three-time intervals:

1. Extended, dynamically expressed 2x-3x phase events are recorded with low-frequency recording in the interval of 0-3.0 seconds;
2. There are also clear extended, dynamically expressed reflections with a higher-frequency recording in the interval of 3-5.5 seconds;
3. As a rule, extended, low-intensity events are recorded below an interval of 5 seconds.

Basically, the multilayered structure of the section with a large number of lithological contacts determines the

presence of a large number of dynamically distinctive and resolved 2-3-phase reflections with very poor slopes of the in-phase axes over the entire study area. The dynamic expressiveness of reflections increases sharply, extended seismic horizons acquire the character of key ones in some areas. As moving to the crest of the structures, the information content of the seismic picture is significantly distorted, the expressiveness and temporal resolution of the recording deteriorate, and complex interference recording is observed. Besides dynamically expressed seismic reflections, poor reflections distinguish in large numbers on the time sections obtained in the central and eastern parts of the APR. These reflections reflect the change in acoustic impedance (AI) and are associated with the age bedding of the section.

Almost all dynamically expressed reflections are of an interference character in the thin-bedded terrigenous section (Fig. 3), since they are reflected from thin-bedded series of finite thickness with layers of similar lithological features (i.e., acoustic impedance). The high-frequency components of the seismic signal decay rapidly, but the low-frequency components penetrate deeper and deeper parts of the section and provide information about deep horizon. Reflections associated with thin-bedded series carry useful geological information. The amplitudes of the total reflection are proportional to the differences of the AI at the contact of two fields.

Reflections may not occur or appear in a weakened form at a curved stretched AI gradient. On the contrary, the AI gradient will contribute to the creation of a strong reflection from a sharply appressed series. If the section consists of almost transparent intervals and dynamically expressed intervals, the character of the AI drop in the sedimentary cover is inherent in the nature of sedimentation. Thin intervals correspond to the depths of poorly differentiated sediment genesis, where AI

changes occur smoothly and there are no sharp horizons. Therefore, age successive beddings are the main parameter for the occurrence of reflections. The amplitude of the traced phases is the total from each horizon in thin-bedded sections. It occurs with maximum or less compact texture and structural series at a high rate of sedimentation, i.e. high-energy environment. Dynamically poorly expressed reflections are usually associated with them.

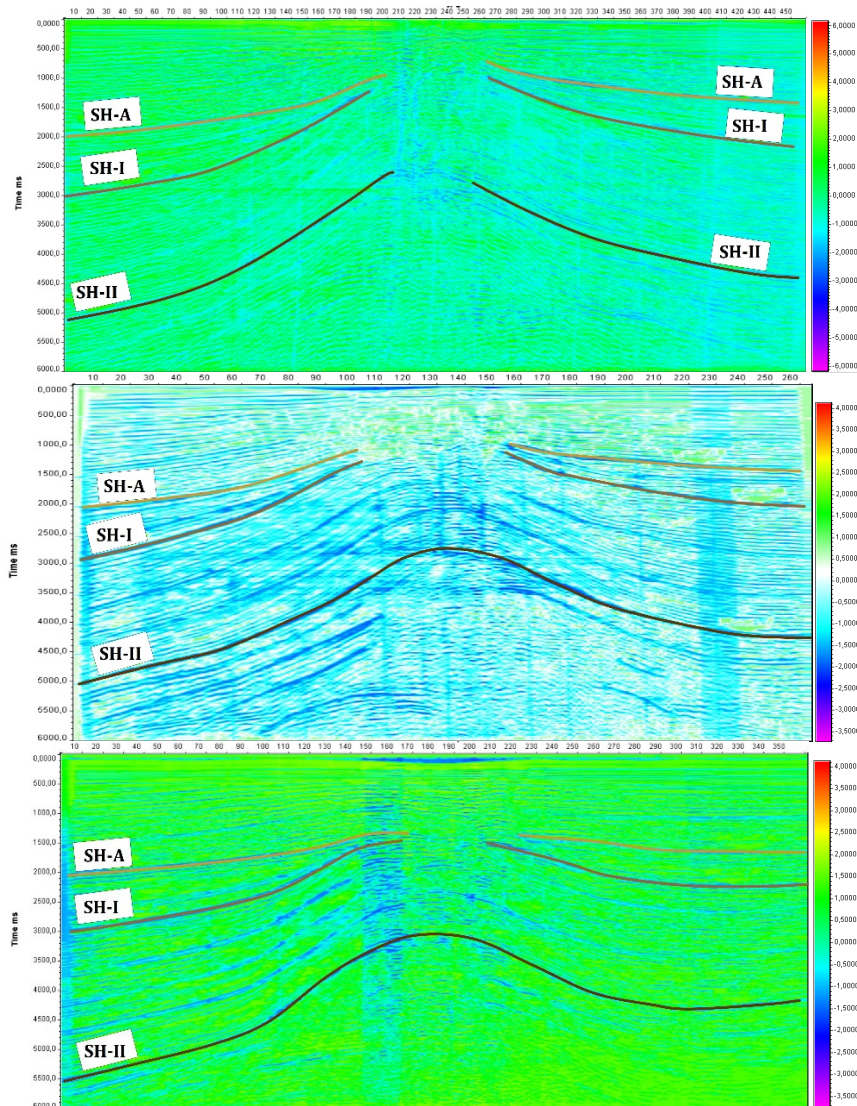


Fig. 3. Time laps seismic sections along the structures of the eastern part of the APR

The alteration of the quality of the seismic material also changes as the depth of the study increases. The material becomes more complex in depth, the number of reflections decreases, and the length of the reflecting horizons is violated.

As mentioned above, a complex deep structure: disjunctive fault, steep angles of dip of the wings, lithofacies features of the section – all these factors predetermine the formation of a complex wave field.

So, in general, a deterioration of seismic data is observed in the considered area from NW to SE, from the Dostlug structure to the Cheleken zone.

The author determined four seismic horizons: SH-A (Akchagyl), SH-I (tops of RS), SH-II (horizon VIII) and SH-III (lower RS) based on the dynamic expressiveness, length, and resolution of the record. The tracking quality of the mentioned horizons is not the same.

The stratigraphic assessment of these horizons is most reliably substantiated in areas where there are numerous data from prospecting and exploratory drilling; a small amount of seismic survey data from the TSS has been obtained for individual areas of the Pribalkhan uplift zone in recent years.

SH-A – correlated along dynamically expressed extended events at times of 1.3-2 sec. SH-A is not traced on the crest of the structures throughout the study area and in the fringes. Recording is complicated by interference, dogled of the events, diffracted waves.

SH-I – is distinguished by dynamism, length. Registration time – 2-2.7 sec. Tracing SH-I is complicated by interference in the crest position of the folds, which is a consequence of the wedging out of deposits in the Absheron.

SH-II – the horizon loses its intensity and correlates less confidently in RS deposits.

SH-III – its traceability is less confident than the first horizons. SH-III is complicated by interference, the superposition of waves arriving with different inclinations of the events increasing with depth on the wings of the area.

Structural constructions were carried out along these horizons on a scale of 1:100,000, with a contour interval of 100 m. Data of detailed and prospecting seismic works, as well as deep drilling data were involved for the compilation of consolidated structural maps. In view of the fact that most of the profiles can be considered orthogonal, the complication of structural maps was carried out in isoverticals.

Results of the Research. The results of the studies have shown that the structures of each anticline line of APR are brachs/linear anticlines with steep southwestern and

gently northeastern wings, which can be explained by the fact that their southwestern wings are turned towards the South Caspian depression, which experienced the strongest warping in the Pliocene-Anthropogenic time and the Artemo-Kelkor ridge, towards which the northeastern wings of the folds are turned, did not experience such a strong warping.

The Artem-Kelkor trough is reflected as several synclines on the structural constructions made along the tops and bottoms of the RS (Fig. 4). The synclines are complicated by troughs and slightly flatten out up the RS section. The NE side of the Artem-Kelkor trough is slightly sloping to southwest and the slope angles of the layers are 7-9°, 12-14° and increase with depth to 16-18° and 24-28°.

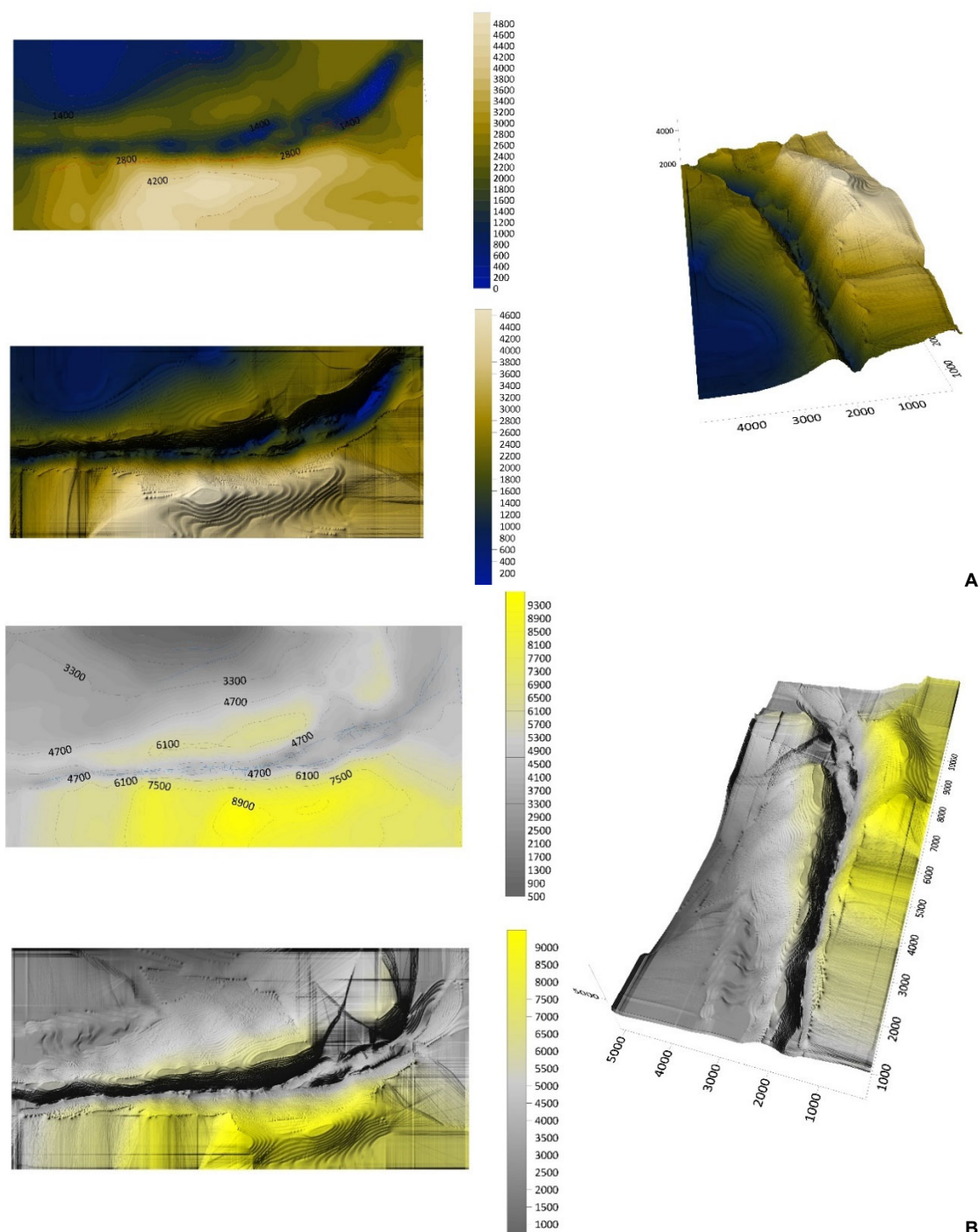


Fig. 4. Consolidated structural maps for seismic horizons SH-I (A) and SH-II (B), their representation in 2D, 3D and relief form

The NE side of the Artem-Kelkor trough rises in the direction of the Kubadag ridge on all structural constructions.

Besides the abovementioned structural maps by using seismic profiles, which cover the entire study area, a map of equal thicknesses between the seismic SH-I and SH-II was compiled, which characterize the distribution of thicknesses of the RS deposits within APR (Fig. 5). The analysis of the compiled map showed that the thickness of the RS in this area varies within a fairly wide range from 1000 m in the north of the area, to 4250 m in the south (Fig. 5).

It is known that the trend of folds, as a rule, corresponds to the trend of isolines of sediment thickness, synchronous time of their growth, which provides an additional criterion for determining the age of folds (*Pishnamazov, 1982*).

Observing a similar picture in the described zone and taking into account this criterion, we can conclude that the growth of APR folds continued in the Lower Pliocene

simultaneously with sedimentation. This is also evidenced by the increase of thickness from the faults to the wings of the uplifts. Notably, the greatest thickness of RS 4000-4250 m is observed on the SW wings of the uplifts, which is explained by the fact that these wings pass into the northern side of the South Caspian Basin, which underwent a long subsidence in the Lower Pliocene.

The NE wings of the uplifts of the described anticline zone pass into the side of the Artem-Kelkor syncline, which is filled with red beds, the thickness of which reaches 4000 m. The thickness of red beds decreases (up to 1000 m) to the NE of the Artemo-Kelkor syncline, gradually wedging out in the direction of the Scythian-Turan platform.

Besides the abovementioned structural constructions, the article deals with geological and geophysical profiles that provide additional information about the tectonics of the study area (Fig. 6).

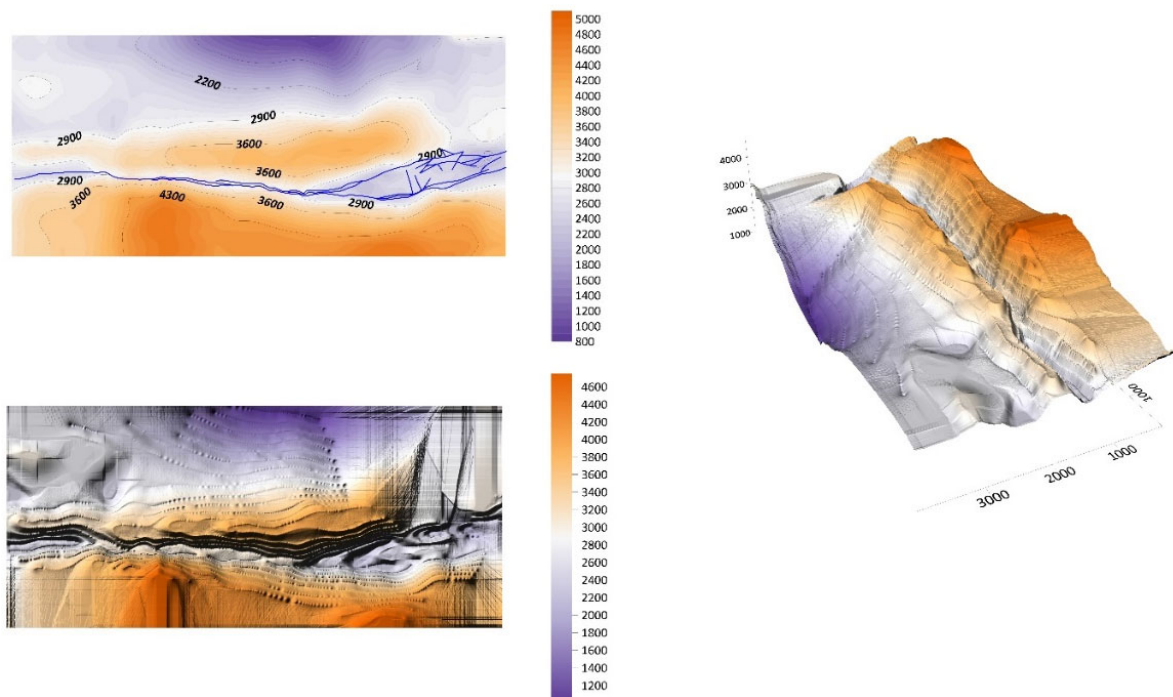


Fig. 5. Map of equal thicknesses between the seismic horizons SH-I (above) and SH-II (below), its representation in 2D (left), 3D and relief form (right)

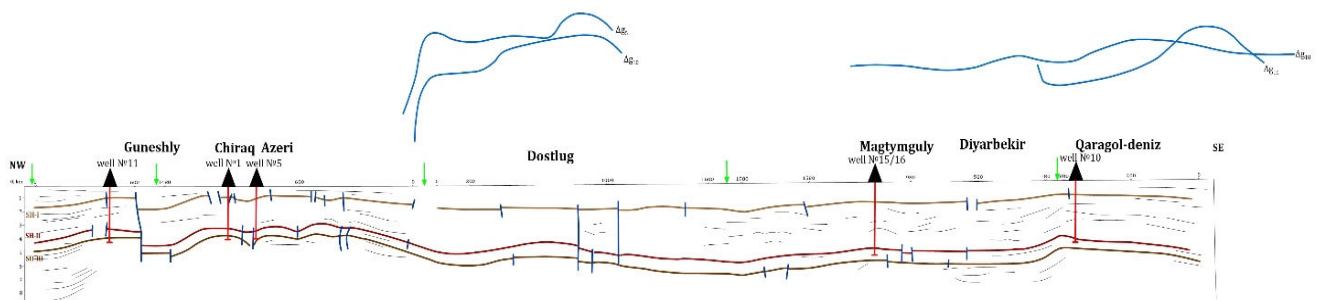


Fig. 6. Sublatitudinal geological and geophysical profile along the APR

Besides seismic surveys, the entire study area is covered with a semi-detailed gravimetric survey and certain sections of the area are covered by hydrogas surveys (*Zalova, 1982; Nasruev, Rzayeva, 1982*). Comparing the results of seismic surveys with the data of gravimetric works (*Zalova et al, 1982*), the subordinate character of the origin

and development of Pliocene structures can be emphasized. It is assumed that the formation of RS structures is to some extent associated with older structural and tectonic complications.

According to *Zalova (Zalova, 1982)*, local maximums correspond to the Pliocene structures in areas where the

presence of an uplifted block in the Paleogene-Mesozoic is assumed, i.e. in the areas of local maximums Magtimgulu and Diyarbekir.

So, it becomes obvious that the reflection of the Pliocene structures in the local field is subordinate to the influence of the Mesozoic. The variation of the hypsometric level of the Magtimgulu, Diyarbekir and Garagol-Deniz structures along the top and bottom of the RS coincide with the block structure, i.e. where a raised block occurs, the hypsometric level is higher there and vice versa.

The anomalies of hydrocarbon concentrations, which are revealed as a result of hydrogas surveys, are confined mainly to the zone of uplifts in sea water. Taking into account the significant disturbance of the uplifts, the formation of gas anomalies under them can be associated with the release of hydrocarbons along the disturbances to the surface.

Conclusions.

1. As a result of the generalization of seismic data of the CDP and drilling, consolidated structural maps were compiled for the single seismic horizons SH-A, SH-I, SH-II and SH-III for the eastern part of the Absheron-Prebalkhan tectonic zone at a scale of 1:100.000. A discrepancy of the structural plans of sediment complexes of different ages was noted, regularity was determined in the displacement of the crest of structures with depth to the southeast.

2. A map of the distribution of thicknesses of red beds over the study area was compiled, where the greatest thickness of RS deposits is confined to the northern part of the zone.

3. An analysis of the CDP time sections shows that, the wave picture, as a rule, becomes more complicated with depth in the entire aquatorial area of the eastern part of the APR, the traceability of reflecting boundaries worsens, their density decreases, and the dynamic characteristics of reflected waves change.

References

- Abdullaev, N.R. (2015). Evolution of the sedimentary cover and assessment of the prospects of the South Caspian Basin. *Extended abstract of PhD thesis*. Baku.
- Abdulla-zade, M.Ch. (2021). Main geodynamic processes in the evolution of the South Caspian Basin. Baku, 362-367.
- Abdulla-zade, M.Ch., Vakhaby, N.F. (2021). About the petrofacial analysis of sediments of the Productive series' lower section of Absheron-Balkhan uplift zone based on geophysical and core studies. *Scientific bulletin "Geologist of Azerbaijan"*, 112-117.
- Alizade, A.A., Guliyev, I.S., Mamedov, P.Z., Alieva, E.G., Feyzullaev, A.A., Huseynov, D.A. (2018) Productive series of Azerbaijan. V. 1. Moscow: Nedra.
- Aksenovich, G.I. et al. (1962). Deep seismic sounding in the central part of the Caspian Sea. M.: The Academy of Sciences of the USSR.
- Babaev, D.Kh., Gadzhiev, A.N. (2006). Deep structure and prospects for the oil and gas potential of the Caspian Sea basin. B.: Nafta-Press.
- Kunin, N.Ya., Kucheruk, E.V. (1984). Seismostratigraphy in solving problems of prospecting and exploration of oil and gas fields. *Results of science and technology*, 13, 195 p.
- Kunin, N.Ya. (1990). Theoretical foundations of seismostratigraphic analysis. *Seismostratigraphic studies in the USSR*, 32-44.
- Mamedov, P.Z. (1983). Application of the principles of seismostratigraphy into subdividing the sections of the Absheron-Pribalkhan folded zone in order to search for a non-anticlinal type oil and gas traps. Collection of materials of the All-Union scientific conference. Baku.
- Mamedov, P.Z., Ragimkhanov, F.G. (1985). The study of the surface of unconformity in the lower middle Pliocene in the northwestern part of the Apsheron threshold based on the results of seismostratigraphic studies. *Izvestiya "Oil and Gas"*, 14-19.
- Mirchink, M.F. (1933). To the question of the genesis of the productive series. *Azerbaijan oil industry*, 2, 10-13.
- Khain, V.E. (1973). General geotectonics. "Nedra". Moscow, 512 p.
- Bois, C. (1991). Geological significance of seismic reflections in collision belts. *Geophysical Journal International*, 105, 1, 55-69.
- Brunet, M.F., Korotaev, M.V., Ershov, A.V. and Nikishin, A.M. (2003). The South Caspian Basin: A Review of Its Evolution from Subsidence Modeling. *Sedimentary Geology*, 156, 119-146.
- Fashagba, I., Enikanselu, P. et al. (2020). Seismic reflection pattern and attribute analysis as a tool for defining reservoir architecture in 'SABALO' field, deepwater Niger Delta. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10, 991-1008.
- Fournier, F., Borgomano, J. (2007). Geological significance of seismic reflections and imaging of the reservoir architecture in the Malampaya gas field (Philippines). *AAPG Bulletin*, 235-258.

Надійшла до редколегії 01.04.22

M. Абдулла-заде, докторант, наук. співроб.,

E-mail: murad.abdullazade@asoiu.edu.az;

Азербайджанський державний університет нафти та промисловості, просп. Азатлиг, 34, Баку, Азербайджан

ГЕОЛОГІЧНА ПРИРОДА СЕЙСМІЧНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ В ОСАДОВОМУ ЧОХЛІ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ АБШЕРОН-ПРИБАЛХАНСЬКОГО ПОРОГУ

Абшерон-Прибалханська тектонічна зона, що частіше називається Абшерон-Прибалханським порогом, є сполучною ланкою двох великих нафтогазоносних басейнів світу, що розрізняються за генетичним рівнем фундаменту, а саме: Південно-Каспійського та Середньо-Каспійського басейнів. Протягом останніх десятиліть площа, що розглядається, повністю покрита детальними сейсморозвідувальними та гравіметричними дослідженнями.

Наведено матеріал, що ілюструє інформативність сейсмічних розрізів на різних ділянках регіону, що характеризуються різними сейсмогеологічними умовами. У результаті аналізу останніх, виходячи з динамічної виразності, протяжності та дозволеності запису автором уточнені та протрасовані чотири сейсмічні горизонти: СГ-А (акчагил), СГ-І (верхи ЧТ), СГ-ІІ (VIII горизонт) та СГ-ІІІ (низи ЧТ). Якість простеження зазначених горизонтів неоднорідна.

Виділення сейсмічних інтервалів, що відповідають структурним поверхам, засноване на об'єктивно визначених сейсмічних параметрах, таких як конфігурація та взаємне розташування відображень, їх безперервність, а також амплітуда та частота сейсмічних хвиль, було покладено в основу сейсмостратиграфічного аналізу хвильового поля.

Побудовані схематичні структурні карти наочно відображають геологічну будову червонокольорової товщі та акчагильських відкладень і співвідношення структурних планів останніх. Зіставлення комплексних геолого-геофізичних матеріалів дозволяє певною мірою визначити характер поширення літофаціальних особливостей ЧТ відкладень.

Ключові слова: Абшерон-Прибалханська тектонічна зона, поріг, червонокольорова товща, сейсмостратиграфічний аналіз, горизонт, інтерпретація.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 502.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.08>К. Деревська^{1,2}, д-р геол. наук, проф.,E-mail: derevska@ukma.edu.ua;К. Руденко², канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,E-mail: rudenkokseniav@gmail.com;М. Шевчук¹, магістр;Є. Мирижук³, канд. геогр. наук,E-mail: lizka_myr@ukr.net,¹Національний університет "Києво-Могилянська академія",

вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, 04655, Україна;

²Національний науково-природничий музей НАН України

вул. Богдана Хмельницького, 15, м. Київ, 01601, Україна;

³Інститут географії НАН України

вул. Володимирська, 44, м. Київ, 01054 Україна

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ІЛЛІНЕЦЬКОЇ ІМПАКТНОЇ СТРУКТУРИ

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

Узагальнено інформацію щодо винятковості Іллінецької структури, виділено її геологічні, мінералого-геохімічні, ландшафтні та історико-культурні особливості. Актуальність даної тематики зумовлена питаннями збереження земельних ресурсів у межах космогенного ландшафту та оцінки стану навколишнього середовища. Проведена оцінка екологічного стану досліджуваної території дозволила вперше окреслити загрози навколишньому середовищу в межах Іллінецького кратеру. Серед природних загроз особливо виокремлюються екзогенні процеси (геологічна робота поверхневих вод, вітрова ерозія, вивітрювання), унаслідок дії яких утворюються яри і балки; відбувається деградація ґрунтів, зміна ландшафтів тощо. Антропогенне навантаження несе два типи загроз: ненавмисний намір заподіяти шкоди та навмисне нанесення шкоди. В окремих випадках антропогенна діяльність збігається з природними процесами, що посилює їх шкідливі наслідки. У роботі окреслено напружений, критичний, надкритичний та катастрофічний стани навколишнього середовища Іллінецької імпактної структури. Надано характеристику та ранжування загроз навколишньому середовищу. Узагальнення отриманих даних дозволяє презентувати екологічний стан Іллінецького кратеру як близький до надкритичного. Головною проблемою збереження Іллінецької імпактної структури вважаємо адміністративний підхід до виділення геологічних пам'яток природи. З метою зупинення погіршення екологічного стану та збереження унікальної природної структури, ґрунтів, ландшафтів та біогеорізноманіття території пропонується створити Національний природний парк "Іллінецький" разом з існуючим ботанічними заказниками, оскільки підвищене яроутворення та інтенсивне ведення сільськогосподарської діяльності призведе до деградації земельних та лісових ресурсів, збіднення біорізноманіття, а також втрати рекреаційно-туристичної привабливості регіону в цілому.

Ключові слова: Іллінецька імпактна структура, імпакти, екосистема, навколишнє середовище.

Постановка завдання. Актуальність досліджень зумовлена відповідними проблемами збереження земельних ресурсів згідно із Законом України про охорону землі. Метою досліджень є оцінка стану навколишнього середовища в межах космогенного ландшафту Вінницької області.

Іллінецький метеоритний кратер є загальноновизнаною структурою, входить до переліку достовірних імпактних структур на поверхні Землі і детально вивчений українськими і зарубіжними ученими (Гуров, Гурова, 1987; Кац і др., 1989; Гуров, 1991, 2002; Вальтер та ін., 1998; Gurov et al., 1998 тощо). Космогенна структура виникла в результаті зіткнення космічного тіла з гранітоїдами Українського щита 445 млн років тому. У результаті утворилася кільцева структура – метеоритний кратер з діаметром близько 8,5 км і глибиною до 900 м (Гуров, 1991; Криводубський та ін., 2004; Гуров, Гожик, 2006). На відміну від інших українських астроблем (Gurov et al., 1998; Деревська та ін., 2019; Derevska et al., 2020) Іллінецька не була похована під осадовим шаром і характеризується відкритістю відслонень так званих імпактитів – порід ударного метаморфізму, що виникли в результаті миттєвого перетворення гранітоїдів та гнейсів у момент надшвидкісного удару й вибуху метеориту.

Іллінецька імпактна структура розташована в 10 км західніше м. Іллінці Вінницької області в долині р. Собок, а її південна окраїна виходить на поверхню між с. Іваньки, Лугова та Якубовка. Впродовж 2 км у відслоненнях і кар'єрах розкриті червоно-бурі, буро-сірі і сірі ніздрюваті породи, з порожнинами до 2 см, тріщинуваті, у свіжому

слабовивітрілому стані, щільні, з включеннями залишків кристалічних порід, зерен польового шпату і кварцу (рис. 1). Територія Іллінецької імпактної структури і прилеглих ділянок перекрита шаром четвертинних відкладів льодовикового походження, які представлені лесоподібними суглинками і пісками (Виноградов та ін., 1973; Катюк та ін., 1991; Приходько та ін., 2013). Зазначені породи виступають як водоносний горизонт. Загалом на даній місцевості виділено 4 водоносних горизонти різної потужності і складу, що позитивно впливає на формування флористичного різноманіття. Присутність рихлого осадового чохла сприяє розвитку інтенсивних екзогенних процесів, що призводить до локальних змін і трансформації навколишнього середовища природного характеру.

Іллінецький кратер має статус геологічної пам'ятки природи (ГПП) місцевого значення і містить елементи рекреаційної інфраструктури (з 2017 р.). До території ГПП було віднесено тільки кар'єр поблизу с. Лугове, що пов'язано з адміністративним поділом території України на 2017 р. Кар'єр с. Іваньки входить до велосипедного маршруту і є туристичним, а не природоохоронним об'єктом.

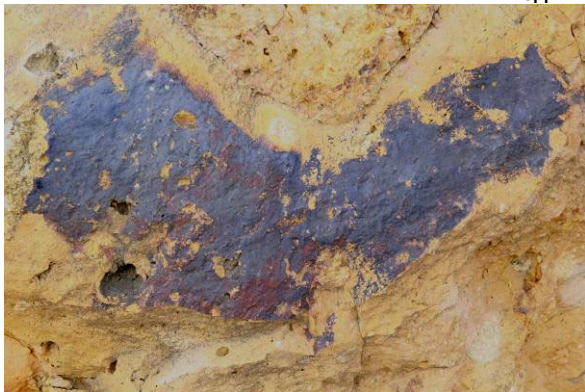
Методика досліджень. Для аналізу екологічного стану Іллінецької імпактної структури нами проаналізовано стан природного середовища в результаті антропогенного навантаження.

У роботі використано загальні наукові методи: системний аналіз стану довкілля, узагальнення, ранжування, зіставлення тощо. Крім того, задіяно сучасні програми, такі як NASA Landsat Science, Google Earth Timelapse для аналізу екологічного стану території досліджень.

© Деревська К., Руденко К., Шевчук М., Мирижук Є., 2022



Виходи імпактитів у кар'єрі



Оксиди марганцю за тріщинами та сколами імпактитів



Включення породи-мішені у переплавленій породі



Гідроксиди заліза та марганцю у відслоненнях



Сліди "бомбочек", що застигли в імпактній масі

Рис. 1. Відслонення імпактитів у кар'єрі поблизу с. Лугове Вінницького району

Геолого-геофізичні, геохімічні та мінералого-петрографічні дослідження Іллінецької структури свідчать про складну історію геологічного розвитку даної території, що зазнала значних тектонічних і гідротермальних перетворень (Деревська та ін., 2019; Палієнко, 1990; Хільчевський та ін., 2009).

Результати досліджень. Аналіз існуючих на сьогодні даних дозволяє виокремити сукупність особливостей, які

визначають Іллінецьку імпактну структуру як унікальний геосайт.

Геологічні особливості. Іллінецька імпактна структура розташована в межах Придніпровської височини і є найдавнішою у Європі (445 млн років) (Гуров, 1991; Gurov et al., 1998; Гуров, Гожик, 2006). Іллінецький кратер є найбільш еродованим з відомих на сьогодні 8 підтверджених метеоритних кратерів України і є найменшим

за розмірами серед них. У межах Іллінецької структури наявні 6 відслонень, у тому числі 2 кар'єри. Пройдено 55 свердловин, з них 7 заглубились близько 200 м. Свердловини у західній частині структури досягли лише кори вивітрювання, не розкривши незмінених порід фундаменту (Виноградов та ін., 1973; Катюк та ін., 1991; Приходько та ін., 2013).

У розрізі структури виділяються чотири головних породних комплекси: цокольний, коптогенний, а також комплекси заповнення і перекриття. Породи цокольного комплексу на дні кратера – це аутигенна, тобто не переміщена під впливом вибуху брекчія. Вона складається з брекчіюваних кристалічних порід того ж складу, що спостерігаються в бортах структури (с. Іваньки). Коптогенний комплекс (тобто створений вибухом) складається з алогенної (переміщеної) брекчії, яка залягає на аутигенній, та імпаکتитів. Вони завершують угорі коптогенний комплекс (Гуров, Гожик, 2006; Виноградов та ін., 1973; Катюк та ін., 1991; Приходько та ін., 2013; Деревська та ін., 2019; Derevska et al, 2020).

Мінералого-геохімічні особливості. Винятковим є геохімічний склад ґрунтів, які мають підвищений вміст Ir, Ni, Co, Os, а також ізотопні аномалії He, Os, S, C, що підтверджує космогенне походження гірських порід (Катюк та ін., 1991; Приходько та ін., 2013).

Залізисто-марганцеві мінеральні агрегати у тріщинах та пустотах щільних порід кратера є свідками історії розвитку даної території після імпактної події і вказують на формування потужної кори вивітрювання (КВ) у континентальних умовах тропічного клімату (див. рис. 1). На сьогодні спостерігаються локальні скупчення залишкової КВ, яка була змита льодовиковими флювіогляціальними водними потоками. Присутність імпактних алмазів та різновидів кварцу (коесит, стишовіт), що утворюються за надвисоких температури та тиску, зокрема, виникають під час імпактної події (Valter et al., 1982; Вальтер і др., 1998; Gurov et al., 1998), доводить метеоритне походження структури.

Особливості ландшафтів. Іллінецька структура розташована в межах Придніпровської височини, для якої характерне чергування вододілів із річковими долинами та ярами. Виділяються лучно-степові, лісові, водно-болотні, лучні природні ландшафти, а також природно-антропогенні. Лучно-степові ландшафти Іллінецької структури мають цілющі властивості і характеризуються своєрідним біогеорізноманіттям. У зоні поширення імпактитів створено два ботанічних заказники державного значення (Іллінецький і Дашівський) для збереження у природному стані червонокнижних, рідкісних, а також лікарських видів рослин.

Крім названих особливостей природного характеру, в межах Іллінецького метеоритного кратера встановлено об'єкт історико-культурного значення, такий як "сліди черняхівської культури" (рис. 2). Відкриття Іллінецького кар'єру мало важливе значення для вивчення історії виробництва і економіки стародавніх цивілізацій регіону (Климовський, Гуров, 2011; Хавлюк та ін., 1973; Хавлюк, 1980).

Починаючи з III ст. н. е. Іллінецька структура активно розроблялася місцевими черняхівськими племенами, а в подальшому населенням Київської Русі. Адже імпаکتити є чудовим матеріалом для виготовлення жорен для млинів. Вони легко піддавалися обробленню примітивними інструментами і не засмальцовувались, що давало можливість отримувати якісне борошно.

Під час археологічних досліджень гірничих виробок та їхніх околиць (Климовський, Гуров, 2011; Хавлюк та ін., 1973; Хавлюк, 1980) було виявлено майже 6-метровий шар відходів виробництва жорен, а також сліди кількох поселень середніх розмірів, давні майстерні із заготовками та бракованими виробами (рис. 2). Зважаючи на масштабність виробництва, стає зрозуміло, що у метеоритному кратері було налагоджене масове виготовлення жорен, які поширювались територією Київської Русі. Серед знайдених жорен з імпактиту переважали жорна стандартного діаметра – 40 см, але були виявлені і велетенські жорна діаметром до 2 м. Такі жорна візуально легко упізнати, тому їх використовують як своєрідний археологічний маркер для вивчення економіки та торгових зв'язків народів того часу.

Іллінецький кратер був одним з найбільших кар'єрів того часу, розробка якого тривала понад тисячу років і призупинилася через нашествя монголо-татар, після чого так більше і не відновилася в подібних масштабах.

На жаль, сьогодні знищуються сліди черняхівської історії шляхом вивезення з кар'єрів кам'яного матеріалу – відходів давнього промислу. Такі дії призведуть до втрати унікального археологічного об'єкта, враховуючи той факт, що це були перші жорнова, які вигадало людство.

Науковий та екологічний моніторинг, проведений протягом 2013–2020 рр., та використання даних інтернет-ресурсів дозволили нам встановити деякі загрози збереження навколишнього середовища в межах Іллінецької імпактної структури.

Найбільш загрозливим геологічним процесом досліджуваної території є яроутворення. Це пов'язано насамперед з потужним шаром кори вивітрювання кристалічних порід, яка в межах Іллінецької структури сягає близько 30 м. КВ архей-протерозойських порід представлена білим каоліном з охристо-жовтими прошарками, тонкозерниста з вкрапленнями зерен кварцу та мінералів материнської породи. Встановлено значне розгалуження яружної системи, формування глибоких ярів та балок; конуси виносу загороджують балки; по дну ярів постійно течуть струмки, і в гирлі найбільшого яру в центрі Іллінецького кратера у припортовій частині заплави р. Соб є штучне озеро. Значний винос рихлих породи у заплаву річки Соб утворив налив площею 2 га.

Природні виходи імпактитів у вигляді рихлих відкладів у с. Якубівка спостерігаються на пагорбах на березі річки Собок і жодним чином не зберігаються, а використовуються місцевими для власних потреб, водночас порушуються схили природних виходів. Таке ставлення призводить до інтенсивного замулення річок і утворення заболочених ділянок у заплавах, які вже мають значне техногенне навантаження.

З кожним роком територія метеоритного кратера руйнується через інтенсивні антропогенні процеси. З порушенням Земельного і Водного кодексів України у межах даної території розорюються тераси та заплави річок Соб і Собок, а також вододіл на абс. висоті 240 м. Під час моніторингу нами не було зафіксовано жодних заходів щодо рекультивації ярів та порушених земель. Загалом за даними таких програм, як NASA Landsat Science та Google Earth Timelapse, підраховано, що з 1984 р. довжина та глибина ярів у межах Іллінецького імпактного кратера збільшилась у 4–5 разів (рис. 3). Однак з іншого боку, яри та перелоги залишаються єдиним оселищем для рідкісних і лікарських рослин.



Шари відходів виробництва жорен

Пагорби залишків виробництва



Жорна з щільних імпактітів, експозиція краєзнавчого музею, м. Іллінці

Рис. 2. Сліди черняхівської культури в межах Іллінецької імпаکتної структури



Рис. 3. Найбільша яружна система в центральній частині Іллінецької структури. Білим кольором показано тальвег яру у 1984 р., чорним – те саме розгалуження у 2020 р., сіра ділянка – площа наміву осадового матеріалу з яру у заплаві р. Соб

Отже, внаслідок інтенсивної агрономічної діяльності, розорювання земель у межах досліджуваного району (особливо в 2018–2022 рр.), а також знищення рослин задля збільшення орних площ, відбувається заболочування водоймищ, формування торфу, замулювання змитими ґрунтами, зниження рівня води в малих річках (*Хільчевський та ін., 2009*). Поряд з цим визначається висока втрата гумусу, ґрунти значно ущільнені, забруднені пестицидами, мінеральними добривами; підкислені та зазнають інтенсивної вітрової та водної ерозії. Проводиться осушування боліт та старічних озер дискуванням та розорюванням (*Доповідь про стан ..., 2016*).

Для оцінки екологічного стану території Іллінецької структури нами було розроблено алгоритм визначення загроз збереження унікальної території та проведено ранжування стану навколишнього середовища (рис. 4, табл.).

Виділяються загрози, що спричиняють знищення чи руйнування навколишнього середовища (н.с.) природного, природно-антропогенного і антропогенного походження (або характеру). Серед природних чинників виокремлюється руйнування земної поверхні внаслідок геологічної роботи поверхневих вод, вітру, процесів вивітрювання.

Таблиця

Екологічний стан та загрози збереження території Іллінецької імпаکتної структури

Загрози збереження території	Ранги стану збереження імпаکتної структури			
	1	2	3	4
	Напружений	Критичний	Надкритичний	Катастрофічний
Природні чинники				
Яроутворення та балки				+
Карстові процеси	+			
Природно-антропогенні чинники				
Заболочення		+		
Деградація ґрунтів			+	
Антропогенні чинники				
Агрономічна діяльність				+
Меліоративні споруди			+	
Видобуток корисних копалин		+		
Знищення рослинності			+	
Засміченість		+		

Нижче презентуємо значення виділених рангів стану збереження імпаکتної структури:

Ранг 1 (Напружений стан н.с.) – не загрожує існуванню території імпаکتної структури у природному вигляді і за сприятливих умов природний стан навколишнього середовища може бути відновлений без участі людини.

Ранг 2 (Критичний стан н.с.) – існує загроза збереження території імпаکتної структури, однак за сприятливих природних і кліматичних умов та відсутності антропогенного впливу природний стан н.с. може бути відновлений без втручання людини.

Ранг 3 (Надкритичний стан н.с.) – явна загроза збереження території імпаکتної структури. Для відновлення н.с. необхідно зупинення будь якого антропогенного впливу. Відновлення неможливе без втручання людини у процес зупинення загроз.

Ранг 4 (Катастрофічний стан н.с.) – відновлення н.с. в межах імпаکتної структури можливе лише за допомогою людини та вимагає значних фінансових затрат.

Аналізуючи екологічний стан Іллінецької імпаکتної структури, ми дійшли висновків, що стан території наближений до надкритичного. Це означає, що територія втрачає можливість до природного відновлення н.с. без допомоги людини, що пов'язано головним чином з процесом яроутворення та аграрною діяльністю, які мають найбільший негативний вплив на досліджувану територію.

Сучасні природні процеси проявляються інтенсивно, оскільки територія зазнала значної трансформації під час останнього льодовикового періоду, за рахунок чого сформувалась кора вивітрювання кристалічних порід, руйнування та перенесення відкладів на значні площі флювіогляціальними водними потоками (*Виноградов та ін., 1973; Катюк та ін., 1991; Приходько та ін., 2013*). Внаслідок діяльності поверхневих вод та вивітрювання і з урахуванням наявності рихлих порід на поверхні відбувається лінійна та плащова ерозії. На території утворюються глибокі яри і широкі балки; відбувається деградація ґрунтів, і як наслідок – зміна природних ландшафтів.

Серед загроз антропогенного походження виділено два типи:

1) ненавмисний намір заподіяти шкоду (як то адміністративний поділ територій, байдуже ставлення до навколишнього середовища тощо);

2) навмисне нанесення шкоди (систематичне порушення земельного та водного законодавства; фізичне і хімічне руйнування ґрунтів і земельних ресурсів унаслідок сільськогосподарської діяльності; видобуток корисних копалин; вирубка лісу та знищення природної рослинності тощо).

Через антропогенну діяльність знищується природна рослинність, проводиться вирубка лісу, як наслідок – зникають цінні, рідкісні та червонокнижні види флори і фауни регіону, а також скорочуються площі природних ландшафтів (лісових, степових, лучних та інших). Небезпечним для біогеорізноманіття стає розорювання захисних прибережних смуг малих річок.

В окремих випадках антропогенна діяльність збігається з природними процесами – погіршує чи посилює їх наслідки. У результаті такого збігу формуються техногенні ландшафти і відбувається деградація водних та ґрунтових екосистем, що, у свою чергу, може загрожувати змінам регіонального масштабу.

Отже, можна сформулювати такі проблеми збереження території.

1. Адміністративний поділ території. Адміністративний підхід до виділення ГПП недопустимий, оскільки не є науково обґрунтованим, зменшує цінність геологічного об'єкта, охоплюючи тільки невелику частину унікальної структури. На частині, яка не охороняється, триває видобуток каменю, який можна отримати тільки за допомогою важкої техніки й вибухівки.

3. Неврегульоване інтенсивне ведення сільського господарства. Меліорація в межах даної території, як система технічних засобів поліпшення стану ґрунтів, спрямована переважно на річки, де у заплавах

споруджені численні запруды, ставки, а водні ресурси використовують переважно задля сільськогосподарського водопостачання та розведення риби. Небезпечним для біогеорізноманіття стає дискування та розорювання захисних прибережних смуг малих річок, стариць та старичних озер у регіоні.

4. Відсутність планової природоохоронної (заповідної) діяльності. Історична пам'ятка "Залишки давнього виробництва жорен" не є пам'яткою природи і жодним чином не зберігається, а навпаки за останні два роки пограбована завдяки легкому способу видобутку цінного будівельного каменю.



Рис. 4. Блок-схема загроз збереження навколишнього середовища Іллінецької імпаکتної структури

Висновки. У роботі узагальнено унікальність Іллінецької імпаکتної структури, виділено її геологічні, мінерало-геохімічні, ландшафтні та історико-культурні особливості.

Вперше проведено ранжування екологічного стану території Іллінецького кратера у зв'язку з оцінкою збереження його території. Презентовано загрози і проблеми збереження, що пов'язані з природними та антропогенними чинниками. Екологічний аналіз названої площі вказує на близький до надкритичного стану. Встановлено, що територія втрачає можливість до відновлення без допомоги людини, це пов'язано з процесом яроутворення та аграрною діяльністю, які мають найбільший негативний вплив на досліджувану територію.

Унікальність Іллінецької імпаکتної структури і значне поширення виняткових ґрунтів зобов'язує нас створити заповідну територію задля збереження космогенного ландшафту та біогеорізноманіття, оскільки підвищене яроутворення та інтенсивний антропогенез призведе до деградації земельних та лісових ресурсів регіону, а також втрати рекреаційно-туристичної привабливості, яка пов'язана з наявністю заповідних територій і потенційних природоохоронних об'єктів історико-культурного спрямування.

Список використаних джерел

Вальтер, А.А., Гурский, Д.С., Еременко, Г.К. (1998). Алмазоносность астроблем Украины и природа образования высоких концентраций импактных алмазов. *Мінералогічний журнал*, 20, 6, 48-63.
Виноградов, Г.Г., Палий, Д.П., Германов, Б.С. и др. (1973). Геологическая карта м-ба 1:50 000 территории листов М-35-107-В, Г. *Отчет ГСП № 30 Побужской ГЭ за 1971-1973 гг.* К.: Геоинформ.

Водний Кодекс України. (1995). *Відомості Верховної Ради України*, 24, 189. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
Гуров, Е.П. (1991). Геологическое строение и вещественный состав пород импактных структур. Київ: Наукова думка.
Гуров, Е.П. (2002). Импактное кратерообразование на поверхности Земли. *Геофизический журнал*, 6, 24, 3-35.
Гуров, Е.П., Гожик, П.Ф. (2006). Импактное кратерообразование в истории Земли. Київ.
Гуров, Е.П., Гурова, Е.П. (1987). Импактные структуры на поверхности Земли. *Геологический журнал*, 47, 1, 117-124.
Деревська, К.І., Сукач, В.В., Зюльцле, О.В., Музичко, Т.І., Павлов, Г.Г., Павлюк, В.М., Пилипчук, О.М., Руденко, К.В., Сільченко, Г.В., Спича, Р.О., Степанюк, Л.М. (2019). Мандруючи Іллінецьким кратером. Путівник геологічної екскурсії в рамках наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка. НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ.
Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області. (2016). Отримано з <https://mep.gov.ua/files/docs/Reg.report/>
Земельний кодекс України. (2002). *Відомості Верховної Ради України*, 3-4, 27. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
Катюк, І.Ю. и др. (1991). Групповая геологическая съемка м-ба 1:50 000 с общими поисками территории листов М-35-119-А, Б; -120-А, В (Гайсин). *Отчет геологосъемочного отряда № 39 у Правобережной геодезической партии за 1987-1991 гг.* К.: Геоинформ.
Кац, Я.Г., Козлов, В.В., Полетаев, А.И., Сулиди-Кондратьев, Е.Д. (1989). Кольцевые структуры лика планеты. *Новое в жизни, науке, технике. Сер. "Наука о Земле"*, 5, К 62, 1-55. М.: Знание.
Климовський, С.І., Гуров, Е. П. (2011). Про сировину і масштаби виробництва давньоруських жорен з Іллінецького родовища. *Східно-Європейський археологічний журнал*, 5 (12).
Криводубський, В.Н., Солоненко, В.І., Чурюмов, К.І. та ін. (2004). Іллінецька астроблема – найдавніша на Українському кристалічному щиті. *Вісник Астрономічної школи*, 5, 1-2, 23-29.
Палієнко, Е.Т. (1990). Географічна енциклопедія України. "Українська енциклопедія" ім. Бажана, 102-103.
Приходько, В., Кулик, С., Павлюк, В., Деркач, С. та ін. (2013). Геологічна будова та корисні копалини вододілу річок Соб і Гнилий Тікич. *Zeit*

по геологічне вивчення надр території аркуша М-35-XXX (Гайсин) ма-
штабу 1:200 000. Кн. 1, 2.

Хавлюк, П.І. (1980). Про виробництво жорен на черняхівських поселен-
нях Побужжя. *Археологія*, 34, 30-35.

Хавлюк, П.І., Шекун, О.В., Веремійчук, О.М. (1973). До питання про ви-
готовлення жорен в Древній Русі. *Археологія*, 9, 34-40.

Хільчевський В.К., Чунарьов О.В., Ромас М.І., Яцюк М.В., Бабич М.Я.
(2009). Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу. За
ред. В.К. Хільчевського. К.: Ніка-центр.

Derevska, K., Sukach, V., Rudenko, K., Spytisia, R. (2020). The Ilyinets
meteorite crater - geological structure unique in Europe and a promising
destination for international tourism. *Journal of Geology, Geography and
Geocology*, 29(4), 656-672. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112059>

Gurov, E.P., Koeberl, C., Reimold, W.U. (1998). Petrography and
geochemistry of target rocks and impactites from the Ilyinets crater, Ukraine.
Meteoritics and Planetary Sciences, 33, 1317-1333.
<https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1998.tb01316.x>

Valter, A.A., Dobryansky, Yu.P., Lasarenko, E.E., Tarasyuk, V.K. (1982)
Shock metamorphism of quartz and estimation of masses motion in the bases
of Boltysh and Ilyinets astroblemes of the Ukrainian Shield. *Abst. Pap. 13th
Lunar and Planet. Sc. Conf., March 5-19, Houston*, Pt 2, 819-820.

References

Derevska, K., Sukach, V., Rudenko, K., Spytisia, R. (2020). The Ilyinets
meteorite crater - geological structure unique in Europe and a promising
destination for international tourism. *Journal of Geology, Geography and
Geocology*, 29(4), 656-672. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112059>

Derevska, K.I., Sukach, V.V., Ziutisle, O.V., Muzychko, T.I., Pavlov, G.G.,
Pavlyuk, V.M., Pylypchuk, O.M., Rudenko, K.V., Silchenko, G.V., Spitsa,
R.O., Stepanyuk, L.M. (2019). Traveling through Ilyinets Crater. Guide to
geological excursions in the framework of a scientific conference dedicated
to the 50th anniversary of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore
Formation named after MP Semenenko. NAS of Ukraine, Institute of
Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko.
Kyiv. [In Ukrainian]

Gurov, E.P. (1991). Geological structure and material composition of rocks
of impact structures. Kyiv: Naukova Dumka. [in Russian]

Gurov, E.P. (2002). Impact cratering on the Earth's surface. *Geophysical
journal*, 6, 24, 3-35. [in Russian]

Gurov, E.P., Gozhik, P.F. (2006). Impact cratering in the Earth's history.
Kyiv: Institut Geologicheskikh Nauk Ukrainy. [in Russian]

Gurov, E.P., Gurova, E.P. (1987). Impact structures on the Earth's surface.
Geological Journal, 47, 1, 117-124. [in Russian]

Gurov, E.P., Koeberl, C., Reimold, W.U. (1998). Petrography and
geochemistry of target rocks and impactites from the Ilyinets crater, Ukraine.
Meteoritics and Planetary Sciences, 33, 1317-1333.
<https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1998.tb01316.x>

K. Derevska^{1,2}, Dr.Sci. (Geol), Prof.,
E-mail: derevska@ukma.edu.ua;

K. Rudenko², PhD (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: rudenkokseniia@gmail.com;

M. Shevchuk¹, M. Sc.,
E. Myrzhuk³, PhD (Geog.),
E-mail: lizka_myr@ukr.net,

¹National University of "Kyiv-Mohyla Academy",
2 Skovorody Str., Kyiv, 04655, Ukraine;

²National Science and Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine
15 Bohdana Khmelnytskoho St., Kyiv, 01601, Ukraine;

³Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine
44 Volodymyrska Street, Kyiv, 01054, Ukraine

Katiuk, I.Iu. et al. (1991). Group geological survey of m-ba 1: 50 000 with
general searches of the territory of sheets M-35-119-A, B; -120-A, B (Gaisin).
*Report of the Geological Survey Detachment 39 and the Right Bank Geodetic
Party for 1987-1991*. K.: Geoinform. [in Russian]

Kats, Ia.G., Kozlov, V.V., Poletaev, A.I., Sulidi-Kondratev, E.D. (1989).
Annular structures of the planet's surface. *Novoe v zhizni, nauke, tekhnike*.
Ser. "Nauki o Zemle", 5, K 62, 55 p. [in Russian]

Khavliuk, P.I. (1980). About the production of millstones in the Chernyakhiv
settlements of Pobuzhye. *Arkheolohiia*, 34, 30-35. [In Ukrainian]

Khavliuk, P.I., Shekun, O.V., Veremiychyk, O.M. (1973). On the question
of making millstones in ancient Russia. *Archeology*, 9, 34-40. [In Ukrainian]

Khilchevsky, V.K., Chunar'ov, O.V., Romas, M.I., Yatsyuk, M.V., Babych,
M.Ya. (2009). Water resources and river water quality of the Southern Bug
basin. K.: Nika-center. [In Ukrainian]

Klimovskii, S.I., Gurov, E.P. (2011). About raw materials and scales of
production of ancient Russian millstones from the Ilyinets field. *Eastern
European Archaeological Journal*, 5 (12). [In Ukrainian]

Kryvodubskiy, V.N., Solonenko, V.I., Churimov, K.I., (2004). The Ilyinets
astrobleme is the oldest on the Ukrainian crystal shield. *Visnyk
Astronomichnoi shkoly*, 5, 1-2, 23-29. [In Ukrainian]

Land Code of Ukraine. (2002). Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine,
3-4, 27. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
[In Ukrainian].

Palienko, E.T. (1990). Geographical encyclopedia of Ukraine. "Ukrainian
Encyclopedia" named after Bazhana, 102-103. [In Ukrainian]

Prykhodko, V., Kulyk, S., Pavliuk, V., Derkach, S. et al. (2013). Geological
structure and minerals of the watershed of the rivers Sob and Gnily Tikich.
*Report on the geological study of the subsoil of the territory of the sheet M-
35-XXX (Gaisyn) scale 1: 200 000*. Books 1, 2. [In Ukrainian]

Report on the state of the environment in Vinnytsia region. (2016).
Retrieved from <https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg.report/>. [In Ukrainian]

The Water Code of Ukraine (1995). Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine,
24, 189. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>. [In Ukrainian]

Valter, A.A., Dobryansky, Yu.P., Lasarenko, E.E., Tarasyuk, V.K. (1982)
Shock metamorphism of quartz and estimation of masses motion in the bases
of Boltysh and Ilyinets astroblemes of the Ukrainian Shield. *Abst. Pap. 13th
Lunar and Planet. Sc. Conf., March 5-19, Houston*, Pt 2, 819-820.

Valter, A.A., Gursky, D.S., Eremenko, G.K. (1998). Diamondbearing of
Ukrainian astroblemes and the nature of the formation of impact diamonds high
concentrations. *Mineralogical Journal*, 20, 6, 48-63. [in Russian]

Vinogradov, G.G., Palli, D.P., Geramanov, B.S. et al. (1973). Geological
map 1:50 000 scale of the territory of sheets M-35-107-B, G. *Report of GSP
No. 30 Pobuzhskaya GE for 1971-1973*. K.: Geoinform. [in Russian]

Надійшла до редколегії 17.01.22

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE ILYINETS IMPACT STRUCTURE ENVIRONMENT

The article summarizes information about the Ilyinets structure exclusiveness, highlights its geological, mineralogical and geochemical, landscape and historical and cultural features. This topic relevance is due to the issues of preserving land resources within the cosmogenic landscape and assessing the state of the environment. The assessment of the ecological state of the study area made it possible to outline the threats to the environment within the Ilyinets crater. Among the natural origin threats, exogenous processes (geological work of surface waters, wind erosion, weathering) stand out, as a result of which ravines and gullies are formed; there is soil degradation, landscape changes and the like. Anthropogenic pressure carries two types of threats: unintentional actions to cause harm; and willful harm. The anthropogenic activity sometimes coincides with natural processes, raising their harmful consequences. In the work, stresses, critical, supercritical and catastrophic states of the environment of the Ilyinets impact structure are indicated. The characteristics and ranking of environmental threats are presented. The data obtained allow us to represent the ecological state of the Ilyinets crater as close to supercritical. We consider the administrative approach to the geological natural monuments allocation to be the main problem of the Ilyinets impact structure preservation. In order to stop the deterioration of the ecological state and preserve the unique natural structure, soils, landscapes and biogeodiversity of the territory, it is proposed to create the Ilyinets National Natural Park together with the existing botanical reserves, since increased ravine formation and intensive agricultural activities will lead to the land and forest resources degradation, impoverishment of biodiversity, as well as the loss of the recreational and tourist attractiveness of the region as a whole.

Keywords: Ilyinets impact structure, impactite, ecosystem, environment.

УДК 553.068.5

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.09>

І. Ломакін, д-р геол. наук,
E-mail: igorlomakin@gmail.com,
ORCID 0000-0003-2745-2579;
Є. Сарвіров, мол. наук. співроб.,
E-mail: easarvirov@gmail.com,
ORCID 0000-0001-5429-5834;
В. Кочелаб, ст. наук. співроб.,
E-mail: vldkochelab@gmail.com,
ORCID 0000-0002-4888-9297;
Р. Медведський, асп.,
E-mail: rostislavmedvedskij@gmail.com;
МорГеоЕкоЦентр НАН України,
вул. О. Гончара, 55-Б, м. Київ, 01054, Україна

РОЗСИПНЕ ЗОЛОТО ПІВДНЯ УКРАЇНИ – СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

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

Стабільно високий рівень світових цін на золото на тлі виснаження запасів із металом, що легко вилучається, призводить до необхідності введення в промислове освоєння родовищ з низькотехнологічними рудами і пісками. Це вимагає вдосконалення методики геологорозвідки та застосування ефективних технологій збагачення та вилучення золота.

Присвячено питання про реальний потенціал розсипного золота на півдні України та його практичне значення. Зроблено спробу на основі аналізу накопиченої геологічної інформації дати оцінку якості отриманих раніше результатів щодо розсипного золота України. За геологічними даними на території значно поширені численні прояви розсипного золота різних масштабів, пов'язані з осадовою товщею мезо-кайнозойських відкладів. Зазначено, що геологічне вивчення розсипів в Україні було призупинено в період найнижчих світових цін на золото (наприкінці 90-х років минулого століття), внаслідок чого багато перспективних ділянок залишилися поза увагою. Автори спростовують твердження, що розсипи золота на Українському щиті та у Північному Причорномор'ї не мають промислового значення у зв'язку з низькими параметрами їх золотоносності. Негативна оцінка розсипної золотоносності пояснюється недоліками методології і способів випробування, які були використані при проведенні робіт. Застосована раніш пошукова модель "класичних" розсипів золота не відповідає реальним властивостям золотоносних покладів в осадовій товщі. Переважна маса золота корінних джерел і розсипів України належить до дрібних та тонких класів гранулометричної крупності, а золотовмісні поклади мають високу глинистість. У зв'язку з цим відкладення золота відбувалося зазвичай не у приплотиковій частині розрізу річкових долин, а у так званих косових фаціях, які за пошуків минулих років майже не досліджувалися. Під час випробування застосовувався шліховий спосіб вилучення золота, непридатний для достовірного визначення вмісту золота дрібних та тонких класів. Це призвело до системного заниження параметрів золотоносності у вивчених проявах, а також до суттєвого зменшення оцінки розмірів золотоносних покладів. Отже, потрібна переоцінка раніше отриманих геологічних даних для визначення об'єктивних характеристик розподілу та фактичного вмісту золота у розсипах. Наведено пропозиції щодо подальшого вивчення розсипів. Розглянуто сучасні підходи до прогнозування, вивчення та випробування розсипів, зокрема використання даних дистанційних досліджень Землі, GIS-технологій та методів неотектонічного аналізу для прогнозу та пошуків розсипів. Підкреслено необхідність застосування роздільного визначення вмісту золота залежно від крупності частинок.

Ключові слова: розсипи золота; дрібне, тонке та дисперсне золото півдня України; технологічні втрати золота; ревізійні дослідження; технологічні пристрої.

Вступ та постановка проблеми. Зростання попиту і світових цін на золото за останні 15–20 років на тлі виснаження запасів з металом, що легко вилучається, вимагають інтенсифікації пошуку та введення в промислове освоєння нових родовищ. З 2000 р. ціна золота зросла більш ніж у 5 разів, що підвищило рентабельність його видобутку. Внаслідок цього у коло інтересів золотодобувних компаній світу долучаються раніш непривабливі об'єкти і ділянки з невисокими промисловими характеристиками (низьким вмістом золота, важкозбагачуваними рудами, складними гірничо-геологічними умовами тощо). Ринкова ситуація сприяє прискореному розвитку і вдосконаленню техніки розвідки та технології збагачення і вилучення золота, одночасно потребуючи запроваджувати більш "екологічно чисті" виробничі процеси.

Сучасним станом ринку золота вже скористалися багато золотодобувних країн світу. В Європі, де в період стагнації ринку к початку 2000-х років майже припинився видобуток золота, деякі країни розпочали відроджувати і активно розвивати золотодобувну галузь промисловості.

На жаль, Україна досі не спромоглась використати довготривалу сприятливу ринкову кон'юнктуру по золоту, хоча володіє досить потужним потенціалом золоторудних родовищ у своїх надрах. Ймовірно, так сталося через те, що найінтенсивніший етап проведення геологорозвідувальних робіт і оцінки золоторудних родовищ в

Україні припав на період найнижчого рівня світової ціни на золото. У той час оперативна геологічна оцінка виявлених українських родовищ демонструвала низьку економічну привабливість їх розробки. Державне фінансування геологічних робіт на золото наприкінці 90-х років було різко скорочене. Питання розвитку власного золоторудного напрямку у державній політиці відійшло на другорядний план, родовища залишилися недовивченими. У 2000-х роках, коли ціна золота почала зростати, на державному рівні приймалися окремі рішення про розвиток золотодобувного напрямку, але майже без істотних практичних результатів.

Сьогодні загальні прогнозні ресурси золота в надрах України оцінюються в перші тисячі тонн металу. Основними золоторудними металогенічними провінціями є Український щит (УЩ), Карпатсько-Добрудзько-Кримська і Дніпровсько-Донецька (Гурский и др., 2005). Середні параметри попередньо оцінених ресурсів багатьох українських золоторудних родовищ майже не поступаються характеристикам родовищ Європи, що нині розробляються. Вочевидь, що геолого-економічні показники українських родовищ за сучасної ситуації із цінами на золото здатні продемонструвати високу рентабельність їх відпрацювання.

Найбагатші ресурси рудного золота в Україні зосереджені в рудних полях і родовищах УЩ. На сьогодні офіційно визнано, що їх потенціал становить 2,4 тис. тонн

© Ломакін І., Сарвіров Є., Кочелаб В., Медведський Р., 2022

золота (Опімах, 2020). Тут відомі понад десяток рудних родовищ, численні рудопрояви, аномальні геохімічні ореоли золота. Серед найбільш вивчених родовищ УЩ – Сергіївське, Балка Широка, Балка Золота, Клинівське, Юрївське, Майське, Сурозьке та деякі інші. Ймовірна наявність ще не знайдених золоторудних об'єктів, зокрема із промисловими параметрами. Попередньо можна констатувати, що запаси кожного з відомих родовищ УЩ становлять кілька десятків тонн, а ресурси кожного золоторудного поля оцінюються в сотні тонн золота. Ці об'єкти залишаються недовивченими, виконано тільки оцінку масштабів зруденіння і проведено попередні дослідження якості руд.

Золоторудні родовища, рудопрояви і золотоносні поля УЩ залежно від того, чи виходили золотовмісні породи на денну поверхню, тією чи іншою мірою є потенційними первинними джерелами живлення для формування розсіпів золота. Прояви цих розсіпів досить поширені в Україні, але їх потенціал наразі майже не визначений. Враховуючи наявність численних первинних корінних джерел золота із високим рудним потенціалом у тисячі тонн та сприятливу для розсіпоутворення геологічну історію мезо-кайнозойського етапу розвитку, з високою ймовірністю можна передбачати наявність скупчень розсіпного золота, зокрема із промисловими характеристиками.

Загальний потенціал золота у розсіпних утвореннях можна оцінити щонайменше у десятки тонн. Різномасштабні розсіпопрояви відомі не тільки поблизу від корінних джерел золота, де вони належать до розсіпів близького зносу, а й на достатньому віддаленні від них – у розсіпах далекого розносу. Важливо, що у кварталі розвантаження твердого стоку річкової мережі, що дренує всі золоторудні райони України, відбувалося в область Північного Причорномор'я. Відповідно, саме в цьому напрямку переміщається і відкладався кластогенний матеріал. Тому саме в цьому регіоні спостерігається широке зараження золотом кайнозойських відкладів, і тут найвірогіднішим було формування скупчень золота в пухкій товщі.

Отже, Україна володіє запасами золота в надрах, які не освоюються навіть незважаючи на розвинену інфраструктуру районів розташування золоторудних об'єктів та сприятливу кон'юнктуру світового ринку золота. Головна причина, що перешкоджає їх промислового освоєнню, полягає у відсутності необхідних довгострокових інвестицій. На жаль, бізнес в Україні сьогодні розвиває лише проекти зі швидкою окупністю. На нашу думку, саме таким економічно привабливим бізнес-проектом може стати видобуток розсіпного золота. Світова практика свідчить, що промислова розробка неглибоких розсіпів золота не вимагає великих капітальних вкладень і дозволяє в короткі терміни окупити витрати на освоєння родовища та отримувати прибуток. Тим більше, що сьогодні у світі застосовуються ефективні методи і засоби вивчення розсіпів, існують технології і технічні пристрої щодо проведення досліджень порід із золотом, що важко вилучається. Сучасні технології дозволяють скоротити терміни геологічного вивчення і прискорити початок промислового освоєння розсіпних родовищ.

Метою даної публікації є переосмислення стану реального потенціалу і практичного значення розсіпного золота в Україні з урахуванням сучасного рівня розвитку знань у цій сфері. Проблема полягає в тому, що існує офіційна негативна оцінка розсіпної золотоносності центральної та південної частини УЩ (бо там раніш в 70–90 роки минулого століття вже були проведені роботи, які не виявили скупчень розсіпного

золота промислового значення, і це питання було закрито). У той же час аналіз методів пошуків розсіпів і способу випробування пухких товщ осадових порід на золото, застосованих під час виконання робіт, свідчить, що поза увагою могли залишитись скупчення золота, представленого частинками, які належать до дрібних та тонких класів крупності (ДТЗ), а саме такими розмірами характеризується переважна кількість золота корінних джерел.

Завдання роботи – розглянути на основі компілятивних даних особливості методів і способів вивчення розсіпопроїв, які були застосовані при проведенні геологорозвідувальних робіт у минулі роки, щоб усвідомити реальну достовірність отриманих результатів і надати загальну оцінку ступеню ефективності і якості робіт. Актуальність і терміновість вирішення цієї проблеми зумовлені існуючою довготривалою сприятливою світовою ринковою ситуацією щодо золота, високими перспективами відкриття на території України розсіпів та сучасним розвитком методик і ефективних технологій геологічного вивчення і розробки розсіпних родовищ з переважною часткою дрібного та дисперсного золота, які переважають в Україні.

Сучасний стан уявлень щодо розсіпної геології в Україні та аналіз особливостей методики випробування. Золотоносні розсіпні утворення поширені на території УЩ, Карпатського регіону, Донбасу, Середнього Придністров'я, Північного Причорномор'я, у Криму, в акваторіях Чорного і Азовського морів. Геологічними дослідженнями зафіксовані численні прояви розсіпного золота різних масштабів: від поодиноких проб з вільним золотом та їх скупчень до розсіпних ореолів і навіть розсіпів із досить високим вмістом золота (Кардаш та ін., 1996; Ковальчук, 2001; Лисенко, 2017; Маслаков та др., 2016; Маслаков та ін., 2017; Шнюков, 2001; Юшин, 2008). У подальшому ми розглядаємо особливості розсіпів, розташованих на території УЩ і півдня України, як найперспективніших регіонів. Розсіпне золото тут спостерігається у всіх стратиграфічних комплексах осадових порід у діапазоні від нижньої крейди до квартала включно. Золотовмісні осадові породи мають різноманітні літологічний склад і структурно-фаціальну належність (Ковальчук, 2001; Ковальчук та ін., 2012).

На сьогодні у геологічних фондах у геологічних звітах накопичені величезні обсяги геологічної інформації щодо проявів розсіпного золота на УЩ та його схилах. Однак за матеріалами геологічних звітів нам не вдалося виокремити більш-менш перспективний розсіп із промисловими параметрами. Майже всі прояви залишилися неоконтуреними, вивчалися фрагментарно стандартними шляховим випробуванням, спрямованим на вилучення гравітаційного золота, головним чином у грубозернистих руслових фаціях. Багато перспективних геологічних ситуацій залишилось поза увагою. Тому геологічна оцінка цих проявів не може вважатися остаточною.

Дослідженням питань розсіпної золотоносності в Україні присвячено багато наукових публікацій різних років. Слід відзначити численні праці М.С. Ковальчука (Ковальчук, 1994, 2001, 2008; Ковальчук та ін., 2012; Ковальчук та Крошко, 2015), Є.Ф. Шнюкова (Шнюков та Кардаш, 1994; Шнюков та др., 2000, 2010; Шнюков, 2001), О.О. Юшина (Юшин, 1998, 1999, 2000, 2003, 2005; Юшин та др. 1999, 2008), О.А. Лисенка (Лисенко, 2017) та багатьох інших науковців і дослідників. Майже всі дослідники зазначають, що в золотовмісних осадових покладах переважна частка золота належить до дрібних та менших класів крупності. Автори підкреслюють високі

перспективи території України на розсіпне золото і пропонують виконувати подальші дослідження цієї проблеми (Ковальчук, 2001; Лисенко, 2017; Шнюков, 2001). Проте в публікаціях майже відсутній критичний аналіз якості і достовірності інформації, отриманої під час геологічного вивчення розсіпопроявів.

Невдалі результати пошуків розсіпів золота, на нашу думку, пов'язані насамперед не з відсутністю саме перспективних розсіпів, а з недосконалістю поширених у той час методології та способів геологічного вивчення, які застосовували геологічні підприємства. Роботи в цілому були націлені на відкриття "класичних" долинних алювіальних розсіпів, що не відповідало фактичним характеристикам реальних золотоносних об'єктів УЩ. Це відзначив ще в 2001 р. М.С. Ковальчук (Ковальчук, 2001). Пошукова модель "класичних" розсіпів золота не спрацювала для об'єктів на УЩ. Основними чинниками, які "заважали" формуванню типових алювіальних гравітаційних приплотикових золотоносних покладів, були фізичні властивості золота первинних джерел та склад порід, що його вміщують, а також відносна складність геологічної будови осадової товщі регіону. У корінних джерелах УЩ, що живлять розсіпи, переважна маса золота за гранулометричними характеристиками належить до дрібних, тонких та дисперсних класів (ДТЗ), а у золотовмісних осадових покладах суттєво висока алевроит-пелітова складовка (Ковальчук, 2001). Внаслідок цього частинки дрібного та тонкого золота в глинистому субстраті в розсіпотвірному потоці часто не підпорядковуються правилам розподілу за гідравлічною крупністю. Відкладення ДТЗ відбувається в нетипових для "класичних" розсіпів умовах спокійних течій у заплавах, старичних, косових та подібних фаціях алювію (Ковальчук та ін., 2012), які при пошуках у минулі роки майже не випробувалися. Слід зазначити, що при вивченні розсіпної золотоносності на якість випробування перш за все впливає гранулометрична крупність і морфологія зерен, а також наявність зростків золота з іншими мінералами. Ці ознаки є визначальними з погляду технологічних властивостей при збагаченні проб та вилученні вільного золота. Відомо, що при лотковому промиванні проб значна частина зерен золота розміром 0,25–0,5 мм може втрачатися, а частки розміром, меншим за 0,25 мм майже не уловлюються (Аммосов та др., 2002). Це означає, що під час геологічного вивчення із застосуванням лоткового промивання проб, якщо в досліджуваних породах переважна частина золота представлена сплюсненими, дрібнолускуватими зернами розміром, меншим за 0,25 мм та ще й в істотно глинистому субстраті, втрати золота неминуче будуть надмірними, а результати оцінки недостовірними.

Як типовий приклад рівня фактичних технологічних втрат золота при випробуванні доцільно коротко розглянути ситуацію із найбільш кваліфіковано вивченими та значущими за вмістом золота похованими палеорозсіпами, знайденими в безпосередній близькості від золоторудних родовищ Сергіївського та Балка Золота на Середньому Придніпров'ї. За результатами пошукових робіт на розсіпне золото, виконаних у 1992–1998 рр. КП "ПівденьУкрГеологія" (Сукач, Гаєва та ін.), буровими свердловинами було зафіксовано 49 проявів розсіпного золота. Зокрема було виявлено два поховані золотоносні палеорозсіпи близького зносу із промисловим вмістом золота іноді більше 10 г/м³ (Гаєва та Сукач, 2001; Ковальчук, 2001). Золотоносний приплотиковий пласт, виділений геологорозвідувальними роботами, належить до річкової палеодолини і пов'язаний з алювіальними

відкладами бучакської серії середнього еоцену. Шліхове золото, крім власне продуктивного пласту, зафіксовано в окремих пробах по всьому розрізу алювіальної товщі. Гранулометрія золота, вилученого із шліхових геологічних проб, показала, що масова частка золота, крупнішого за 1,0 мм, становить 67 %. Водночас крупність частинок золота з корінних джерел для цих розсіпів відзначається домінуванням частинок золота розміром, меншим за 0,1 мм. У геологічному звіті щодо вивчених розсіпів указано на високий рівень технологічних втрат золота при збагаченні шліхових проб. Так, при контролі випробування в шламах промивання шліхових проб (так званих хвостах) спектрохімічним аналізом виявлені вмісти золота до 10 г/т, зокрема у шламах проб у шліховій фракції яких гравітаційне золото взагалі не було виявлено. Наведений приклад яскраво демонструє той факт, що методика вивчення та випробування розсіпів була спрямована лише на фіксацію крупного "гравітаційного" золота у приплотиковому пласті, а кількість ДТЗ залишалася поза увагою. Така ситуація є типовою і для інших розсіпних об'єктів України, що свідчить про системну загрозу оцінці параметрів золотоносності і відбракування розсіпів, а також про можливість пропусків золотоносних інтервалів, пов'язаних не з грубозернистими приплотиковими фаціями. Отже, під час проведення золотопошукових робіт із використанням лоткової промивки проб на території УЩ та його схилах, просто не могли бути достовірно зафіксовані та оцінені розсіпні скупчення з переважною часткою ДТЗ, навіть незважаючи на високу кваліфікацію виконавців робіт. На сучасному рівні розвитку методики і технології геологічних досліджень ці проблеми можуть бути ефективно вирішені.

Ще один чинник, який значно ускладнює геологічний пошук та вивчення розсіпів – це відносна складність геологічної будови мезо-кайнозойського осадового комплексу території, зумовлена тривалою та різноманітною історією седиментогенезу. Так, ерозія золотовмісних порід рудних родовищ і накопичення золотоносних розсіпів відбувалися вже в ранній крейді. Це підтверджується знахідками кластогенного золота в апт-альбських алювіальних відкладах (Заруцкий та др., 1980, 1981; Ковальчук, 1994). В еоцені активно формувалися розсіпи близького зносу (Вартанян та др., 2002; Ковальчук, 2001, 2008), які належать давнім річковим долинам та не збігаються з розташуванням сучасної річкової мережі (Гойжевский, 1978). Вони поховані під наносами більш молодих відкладів, тому їх важко виявити. У наступні геологічні епохи через неодноразові трансгресії моря, перебудову тектонічного плану та зміни геометрії річкової мережі частина палеорозсіпів могла бути еродована, а золото змите і перевідкладене в більш молодих верствах – вторинних колекторах. Подальша ерозія і перевідкладення золотоносних порід могли відбуватися в мігруючій прибережній смузі трансгресуючого моря. Акумуляція золотоносних утворень у розсіпах далекого розносу відбувалася переважно в межах ерозійно-тектонічних депресій спільно з алевроит-глинистою складовою різних алювіальних фацій (Ковальчук, 2001; Ломакин та Кочелав, 2019; Ломакин та ін., 2020). Також відбувалися процеси площинного переміщення великих мас теригенного (здебільш дрібного і дисперсного) матеріалу, які супроводжувалися неодноразовим формуванням, розмивом та перевідкладенням проміжних колекторів. Внаслідок перелічених процесів були спроможні формуватися золотоносні поклади з переважною часткою ДТЗ. Присутність самородного золота в сучасних осадових утвореннях багатьох малих і великих річок

(у алювії рік Ірша, Тетерів, Рось, Синюха, Соб, Жовта, Саксагань, Інгулець, Дніпро та ін.) (Ковальчук, 2001), а також в узбережній частині Чорного та Азовського морів (Ломакин и Кочелаб, 2019; Маслаков и др., 2016; Маслаков та ін., 2017) далеко від первинних корінних джерел, свідчить про те, що процеси розмивання золотоносних покладів палеорозсіпів і проміжних колекторів та перенесення і перевідкладення золота відбуваються і на сучасному етапі. Значна частка ДТЗ переносилася із глинистими водними потоками на великі відстані і відкладалася у сприятливих умовах. Найбільш міграційно здатні частинки золота зносились у морські басейни, що підтверджується численними знахідками золота в пробах на Чорноморському та Азовському шельфі (Кардаш и др., 1996; Маслаков та ін., 2017; Федорончук, 2019; Юшин и др., 2008).

Отже, викладене вище переконливо свідчить, що стан геологічної вивченості на розсіпне золото та, головне, достовірність оцінки розсіпопроїв золота, виконаної в попередні роки в Україні, вочевидь недостатні для обґрунтованого вирішення питання про перспективи розсіпної золотоносності регіону. Реальні перспективи відкриття розсіпів із ДТЗ залишаються майже не вивченими і потребують перегляду теоретичних позицій пошуку та використання нових технологічних підходів до виробування на золото.

Пропозиції щодо подальшого вивчення і освоєння розсіпів золота в Україні. З метою отримання об'єктивної характеристики розсіпної золотоносності пухких утворень мезо-кайнозойського віку півдня України необхідний критичний перегляд раніш використаної методології пошуків і вивчення геології розсіпів золота та розробка адекватної концепції пошуків, спрямованої на виокремлення перспективних для акумуляції золотоносних відкладів ситуацій та на вивчення золотоносних порід із золотом усіх гранулометричних класів з окремим акцентом на ДТЗ як на провідну складову. Важливіший принцип вивчення золотоносності проб із ДТЗ, на нашу думку, полягає в окремому дослідженні та аналізі матеріалу геологічної проби за різними гранулометричними класами.

У проблемі пошуків і вивчення золотоносних відкладів із ДТЗ слід виділяти геолого-методичний і технологічний аспекти. Методологічна основа пошуку повинна враховувати, що прогнозовані головні геолого-промислові типи розсіпів золота в Україні за класифікацією ЦНДГРІ (Вартанян и др., 2002) належать до алювіальних долинних похованих розсіпів (для розсіпів ближнього зносу) і до полігенних високоглинистих розсіпів депресійних зон (для розсіпів далекого розносу). Під час їх пошуків особливу увагу слід приділяти структурно-фаціальним ситуаціям, сприятливим для акумуляції і накопичення корисного компонента. При цьому слід мати на увазі особливості поведінки ДТЗ у розсіпотвірних процесах. Загальне вирішення проблеми розсіпної золотоносності України потребує проведення системного і методично обґрунтованого довивчення закономірностей розподілу, шляхів міграції та умов локалізації розсіпів ДТЗ. Наразі для дослідження геолого-структурних ситуацій з метою прогнозу і пошуку розсіпів у світовій практиці широко використовуються структурно-геоморфологічні та неотектонічні методи, зокрема тектоно-лінеаментний аналіз, що дозволяє вивчати новітній структурний план території, виділяти комплекси денудаційного рельєфу і стадії формування морфоструктур, а також встановлювати характер перебудови областей розмиву, транспортування і акумуляції уламкового матеріалу, виявляти структурні пастки. Саме характер і

динаміка неотектонічних рухів (у поєднанні з палеокліматичними умовами) головним чином визначає розподіл, напрямки і швидкість течії поверхневих водних потоків, а також інтенсивність процесів ерозії-акумуляції, що ними спричиняються. Водні потоки є основним транспортувальним агентом кластогенного матеріалу, у тому числі золотоносного. Аналіз тектонічної будови і динаміки неотектонічних рухів різних блоків дає змогу виділяти можливі шляхи транспортування золотовмісних потоків та ділянки їх акумуляції. Порівняно з етапом попередніх геологорозвідувальних робіт на розсіпи, нині геологам доступні різноманітні матеріали дистанційного зондування Землі, зокрема результати космо- і аерозйомок, вивчення особливостей цифрового рельєфу. Дистанційні неотектонічні дослідження є дуже інформативними і експресними. Існують спеціальні комп'ютерні програмні комплекси на основі GIS-технологій для аналізу різноманітних інформаційних аспектів даних дистанційних зйомок. У комплексі з геологічною, геофізичною, металогенічною інформацією вони дозволяють цілеспрямовано, ефективно і маловитратно виконувати прогнозні дослідження для виділення перспективних площ і ділянок.

Технологічний аспект вивчення золотоносності осадової товщі полягає у виборі ефективної схеми обробки і збагачення проб та у підборі і раціональній комплектації технологічного ланцюга збагачувальних пристроїв та допоміжного обладнання, здатних забезпечити максимальне вилучення часток вільного золота. Нині існує великий арсенал різноманітних технічних пристроїв; розроблені і постійно удосконалюються методи і способи випробування, призначені для концентрації і вилучення ДТЗ із золотоносних пухких порід. У сучасній світовій геологорозвідувальній практиці для обробки і експрес-аналізу проб із розсіпів широко використовують пересувні модульні установки, які комплектуються технологічно пов'язаним класифікувальним і збагачувальним устаткуванням, а також лабораторним обладнанням для експрес-аналізу. Ефективність концентрації і ступінь вилучення золота на збагачувальних пристроях головним чином залежать від відповідності обраної технології та режиму збагачення складу властивостям конкретного матеріалу. Для кожної пошукової ділянки слід індивідуально розраховувати і підбирати технологічні схеми збагачення і вилучення корисного компонента. Вибір варіанта визначається його технологічною і економічною доцільністю для конкретної сировини та об'єкта з урахуванням оптимальної продуктивності. На ринку обладнання для видобутку золота існують численні пропозиції із виготовлення модулів пробообробки і комплектації збагачувальних пристроїв залежно від вимог замовника. На жаль, далеко не всі рекламовані апарати відповідають заявленим технологічним характеристикам, тому слід проводити попередні дослідницькі роботи. Під час вивчення утворень із присутністю ДТЗ значно зростає трудомісткість робіт та їхня вартість. У той же час застосування більш досконалих і ефективних методів вилучення ДТЗ при пошуках і розвідці родовищ дозволяють значно підвищити достовірність та якість випробування.

Формування мінерально-сировинної бази розсіпного золота України необхідно починати з ревізії раніше виявлених проявів металу в осадовій товщі. Серед них слід виділити найперспективніші об'єкти для подальшого вивчення. До першочергових, на нашу думку, слід віднести масштабні скупчення золотовмісних проб, а також розсіпопроїви, що характеризуються відносно підвищеними концентраціями золота та належать до акумулятивних ситуацій і структурних пасток. На

пошуковому етапі геологічних робіт першочерговим завданням ревізійного випробування на золото є встановлення факту наявності золотоносності, з'ясування його реальних масштабів, визначення загального вмісту золота і попередня оцінка його розподілу за класами крупності. Для оперативного вирішення цього завдання припустимо застосовувати дещо спрощені схеми обробки проб. Принциповою є особлива увага щодо дрібно-піщано-алевритової і пелітової складової порід – як основної фракції, яка потенційно вміщує ДТЗ. На наступному етапі уточнюється геологічна будова ділянки, оконтурюються золотоносні поклади, оцінюються запаси золота. Головне завдання вивчення розсипної ділянки на цьому етапі полягає у виділенні основних технологічних типів пісків і визначенні потенційного промислового значення об'єкта.

Виявлення, вивчення та освоєння розсипних родовищ України можливі тільки шляхом підвищення ефективності і достовірності досліджень за умови використання адекватних методів прогнозу та способів збагачення і аналізу проб, зокрема спрямованих на вивчення ДТЗ. Необхідний комплексний підхід до вирішення даної проблеми. З одного боку – це розвиток теоретичних уявлень про геологічну будову і речовинний склад золотоносних утворень України, виявлення основних закономірностей міграції та акумуляції ДТЗ; з іншого – застосування сучасних технологій і ефективних технічних пристроїв для підвищення ступеня вилучення корисного компонента.

Висновки. 1. Високий попит на золото і зростання цін на нього на світовому ринку в останні десятиліття на тлі виснаження запасів, що легко вилучаються, потребує введення в промислове освоєння раніше нерентабельних родовищ із відносно невисоким вмістом золота та сировиною, яка складно збагачується. А це, у свою чергу, стимулює модернізацію і динамічний розвиток методології пошуково-розвідувальних робіт та вдосконалення технологій вилучення золота.

2. На півдні України існують необхідні умови для формування розсипів золота. Наявність потужних первинних корінних джерел, значне поширення золота в осадових утвореннях, сприятливі умови седиментогенезу у мезо-кайнозой, існування ділянок можливої акумуляції золотомісних покладів у ерозійно-тектонічних депресіях свідчать про високі перспективи розсипної золотоносності, зокрема із промисловими характеристиками.

3. Внаслідок недосконалої методології та неадекватних способів проведення майже всіх раніше виконаних в Україні геологічних робіт на розсипне золото, реальні параметри розсипів із ДТЗ залишаються нині невивченими і потребують особливого підходу. Для вирішення питання щодо фактичної наявності розсипного золота необхідно на рівні Державної служби геології і надр України розглянути цю проблему і приймати рішення щодо відновлення геологічних досліджень та адаптації нормативної техніко-методичної бази вимог до пошуків золота згідно із сучасним рівнем знань і технологій.

4. З метою створення в Україні мінерально-сировинної бази розсипного золота необхідно на основі сучасного наукового і технологічного підходу проводити геологічні дослідження, що включають ревізію і перегляд раніше отриманих даних щодо золотоносності і пошук нових перспективних площ. Слід використовувати передові технології, такі як аналіз і комп'ютерна обробка матеріалів дистанційного зондування, вивчення цифрового рельєфу Землі, структурно-лінеamentний аналіз та інші методики, спрямовані на виявлення сприятливих для

транспортування ДТЗ структурних ситуацій та ділянок накопичення і концентрації золотоносного матеріалу.

5. Під час випробування пухких золотоносних відкладень для з'ясування характеру розподілу золота за крупністю слід окремо вивчати золотоносність великої (>0,5 мм) і дрібної (<0,5 мм) фракцій матеріалу проби. Дрібна фракція має вивчатися із застосуванням хіміко-аналітичних методів аналізу на золото. Особливу увагу необхідно приділяти систематичному контролю втрат золота у хвості кожної аналізованої фракції.

6. Вибір збагачувальних і допоміжних технічних пристроїв при обробці проб, а також технології збагачення і вилучення золота з пухкої товщі повинні ґрунтуватися на характеристиках і властивостях частинок золота та вмісних порід конкретної ділянки.

Актуальне завдання з розробки нової сучасної прогностично-пошукової концепції щодо переоцінки потенціалу розсипного золота в пухких мезо-кайнозойських утвореннях України може бути успішно вирішене. Необхідно посилити технічне оснащення польових робіт у частині забезпечення ефективними пристроями для пробообробки і збагачення матеріалу із золотом, яке важко вилучається. За таких умов можна розраховувати на відкриття реальних родовищ розсипного золота в Україні.

Список використаних джерел

- Аммосов, Р.А., Башлыкова, Т.В., Московец, И.А., Безродных, В.И. (2002). К оценке потерь мелкого и тонкого золота при лотковом опробовании россыпей. *Горный журнал*, 2, 38-41.
- Вартанян, С.С., Матвеева, Е.В., Надбровенков, О.С., Риндзюнская, Н.М., Сапрыкин, А.А., Филиппов, В.П. (2002). Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск "Экзогенная золотоносность". М.: ЦНИГРИ.
- Гаева, Н.М., Сукач, В.В. (2001). Золото похованих алювіальних розсипів Українського щита (Сурська структура, Середнє Придніпров'я). *Мін. журн.*, 4 (23), 123-128.
- Гойжевский, А.А. (1978). Древние долины Украинского щита. *Геоморфология*, 2, 18-25.
- Гурский, Д.С., Есипчук, К.Е., Калинин, В.И., Кулиш, Е.А., Нечаев, С.В., Третьяков, Ю.И., Шумлянский, В.А. (2005). Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые. Киев-Львов: Изд-во "Центр Европы".
- Заруцкий, К.М., Ветров, Ю.И., Злобенко, И.Ф., Мазур, А.К., Самойлович, Л.Г. (1980). О находке золота в аллювии погребенных раннемеловых долин центральной части Украинского щита. *Геол. журн.*, 3 (40), 149-151.
- Заруцкий, К.М., Ветров, Ю.И., Злобенко, И.Ф., Яроцкая, Т.Ф., Бондаренко, И.Н. (1981). Находка золота в аллювии погребенных раннепалеогеновых речных долин Центральной части Украинского щита. *Геол. журн.*, 5 (41), 155-156.
- Кардаш, В.Т., Лебедь, Н.И., Яценко, Ю.Г. (1996). Золотоносность дольных осадков Азовского моря. *Мінеральні ресурси України*, 3, 10-11.
- Ковальчук, М.С. (1994). Формы транспортировки и накопления золота в нижнемеловых континентальных отложениях северного склона центральной части Украинского щита. *Геол. журн.*, 3, 107-111.
- Ковальчук, М.С. (2001). Особливості міграції золота в еволюційно-генетичному ряду залишкових кір вивітрювання і золотоносних розсипів. *Геол. журн.*, 2, 94-102.
- Ковальчук, М.С. (2001). Золотоносність осадових комплексів України. *Мінералогічний збірник*, 51, вип. 1, 75-87.
- Ковальчук, М.С. (2008). Золотоносність осадових утворень фанерозою України. *Зб. наук. праць ІГН НАН України "Сучасні проблеми літології і мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій"*, Київ, 241-247.
- Ковальчук, М.С., Сукач, В.В., Крошко, Ю.В. (2012). Типоморфні особливості розсипного золота з бучацьких алювіальних відкладів Середньопридніпровської граніт-зеленокам'яної області. *Мінералогічний збірник*, 62, вип. 2, 93-101.
- Ковальчук, М.С., Крошко, Ю.В. (2015). Апт-нижньоальпійські та еоценові річкові долини центральної частини Українського щита. *Вісник Львівського університету. Сер. геологічна*, 29, 67-76.
- Лисенко, О.А. (2017). Розсипні родовища України. Стан освоєння та перспективи нарощування їхнього потенціалу. *Зб. наук. праць УкрДГП*, 3, 74-89.
- Ломакин, И.Э., Кочелаб, В.В. (2019). Тонкое и дисперсное золото осадочного чехла северо-западного Причерноморья. Проблемы и перспективы. *Геол. і корис. копали. Світового океану*, 1, 87-96.
- Ломакин, И.Э., Сарвинов, Е.А., Кочелаб, В.В. (2020). Актуальні питання пошуку родовищ розсипного золота півдня України. *Геол. і корис. копали. Світового океану*, 4, 32-40.

Маслаков, Н.А., Иванченко, В.В., Белицкая, М.В., Гаврилюк, И.В., Османов, Э.М. (2016). Особенности мелкого и дисперсного золота из осадочных пород Нижнего Приднепровья. *Геол. і корис. копал. Світового океану*, 2, 48-56.

Маслаков, М.О., Иванченко, В.В., Ільїна, А.С. (2017). Тонке та дисперсне золоте зруденіння на північно-західному узбережжі Чорного моря. *Геол. і корис. копал. Світового океану*, 4, 79-87.

Опімах, Р. (2020). Чи є видобуток золота в Україні? Отримано з <https://www.geo.gov.ua/chi-ye-vidobutok-zolota-v-ukraini/>

Федорончук, Н.А. (2019). Тонкое золото в донных отложениях Днепровского желоба (Северо-Западный шельф Черного моря): перспективность, морфология, генезис. *Геол. і корис. копал. Світового океану*, 3, 82-96.

Шнюков, Е.Ф., Кардаш, В.Т. (1994). Проявление золота в донных отложениях акватории Черного моря. *Геол. журнал*, 3, 127-128.

Шнюков, Е.Ф., Маслаков, Н.А., Кардаш, В.Т. (2000). Перспективы Южно-Украинской провинции мелкого и тонкодисперсного золота. Природные и техногенные россыпи, месторождения коры выветривания на рубеже тысячелетий. М.: РКВ, 391-392.

Шнюков, Е.Ф. (2001). Поиски месторождений мелкого и тонкого золота в Азово-Черноморском регионе – важная геологическая проблема XXI века. *Геологические проблемы Черного моря*. Киев, 11-22.

Шнюков, Е.Ф., Гаврилюк, И.В., Маслаков, Н.А., Красножина, З.В., Ломакин, И.Э. (2010). Золото в недрах Крыма. Киев: Логос.

Юшин, А.А. (1998). Платиноиды и золото россыпей и кор выветривания – альтернативная база формирования благороднометаллической отрасли Украины. *Сб. научн. трудов НГА Украины*. Днепропетровск, 3, 102-106.

Юшин, А.А. (1999). Особенности формирования золото- и платиноносных россыпей Украинского щита. Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства. Екатеринбург: УГГА, 45-46.

Юшин, А.А., Резник, В.П., Мудров, И.А. (1999). Металлы платиновой группы в золотоносных осадках СЗ шельфа Черного моря. *Геол. и полез. ископ. Черного моря*, 227-230.

Юшин, А.А. (2000). Золото и платиноиды в мезо-кайнозойских платформенных россыпях Украины: возможные источники и условия локализации. Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. М.: ИГЕМ РАН, 395-398.

Юшин, А.А. (2003). Прогнозно-поисковое значение соотношений отдельных платиновых металлов в породах осадочного чехла Украинского щита. *Матер. II наук.-виробн. наради "Світлодар-2003"*, Київ: УкрДГРІ, 223-226.

Юшин, А.А. (2005). Тонкое золото в корях выветривания в осадочном чехле Украинского щита и его обрамления. Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 327-329.

Юшин, А.А., Присяжный, В.М., Какаранза, С.Д., Пашняк, С.В., Семенов, П.В., Волков, В.А. (2008). Опыт и проблемы изучения и поисков россыпей с мелким и тонким золотом в осадочном чехле северо-западного Причерноморья. *Геол. и полез. ископ. Мирового океана*, 2, 34-52.

References

- Ammosov, R.A., Bashlykova, T.V., Moskovec, I.A., Bezrodnyh, V.I. (2002). K ocenke poter' melkogo i tonkogo zolota pri lotkovom oprobovanii rossypej. *Gornyy zhurnal*, 2, 38-41. [in Russian]
- Vartanyan, S.S., Matveeva, E.V., Nadbrovnenkov, O.S., Rindzyunskaya, N.M., Saprykin, A.A., Filippov, V.P. (2002). Metodicheskoe rukovodstvo po ocenke prognoznykh resursovalmazov, blagorodnykh i cvetnykh metallov. Vypusk "Ekzogennaya zolotonosnost". M.: CNIGRI. [in Russian]
- Gaeva, H.M., Sukach, V.V. (2001). Zoloto pohovanih alyuvial'nykh rozsipiv Ukrain'skogo shchita (Surs'ka struktura, Serednye Pridniprovy'a). *Min. zhurn.*, 4 (23), 123-128. [in Ukrainian]
- Gojzhevskij, A.A. (1978). Drevnie doliny Ukrain'skogo shchita. *Geomorfologiya*, 2, 18-25. [in Russian]
- Gurskij, D.S., Esipchuk, K.E., Kalinin, V.I., Kulish, E.A., Nechaev, S.V., Tret'yakov, YU.I., SHumlyanskij, V.A. (2005). Metallicheskie i nemetallicheskie poleznye iskopaemye Ukrainy. Tom 1. Metallicheskie poleznye iskopaemye. Kiev-L'vov: Izd-vo "Centr Evropy". [in Russian]
- Zaruckij, K.M., Vetrov, YU.I., Zlobenko, I.F., Mazur, A.K., Samojlovich, L.G. (1980). O nahodke zolota v allyuvii pogrebennykh rannemelovykh dolin central'noj chasti Ukrain'skogo shchita. *Geol. zhurn.*, 3 (40), 149-151. [in Russian]
- Zaruckij, K.M., Vetrov, YU.I., Zlobenko, I.F., YArockaya, T.F., Bondarenko, I.N. (1981). Nahodka zolota v allyuvii pogrebennykh rannepaleogenovykh rechnykh dolin Central'noj chasti Ukrain'skogo shchita. *Geol. zhurn.*, 5 (41), 155-156. [in Russian]
- Kardash, V.T., Lebed', N.I., YAcenko, YU.G. (1996). Zolotonosnost' donnykh osadkov Azovskogo morya. *Mineral'ni resursi Ukrainy*, 3, 10-11. [in Russian]
- Koval'chuk, M.S. (1994). Formy transportirovki i nakopleniya zolota v nizhnemelovykh kontinental'nykh otlozheniyah severnogo sklona central'noj chasti Ukrain'skogo shchita. *Geol. zhurn.*, 3, 107-111. [in Russian]

Koval'chuk, M.S. (2001). Osoblivosti migracii zolota v evolyucijno-genetichnomu ryadu zalishkovykh kir vivitryuvannya i zolotonosnykh rozsipiv. *Geol. zhurn.*, 2, 94-102. [in Ukrainian]

Koval'chuk, M.S. (2001). Zolotonosnist' osadovykh kompleksiv Ukrainy. *Mineralogichnij zbirk*, 51, 1, 75-87. [in Ukrainian]

Koval'chuk, M.S. (2008). Zolotonosnist' osadovykh utvoren' fanerozoju Ukrainy. *Zb. nauk. prac' IGN NAN Ukrainy "Suchasni problemi litologii i mineragenii osadovykh basejnyv Ukrainy ta sumizhnykh teritorij"*. Kiiv, 241-247. [in Ukrainian]

Koval'chuk, M.S., Figura, L.A., Kroshko, YU.V. (2012). Litologiya ta zolotonosnist' nizhn'okrejdovykh kontinental'nykh vidkladiv rajonu Kanivs'kykh dislokacij. *Zb. nauk. prac' Institutu geologichnykh nauk NAN Ukrainy*, 5, 85-88. [in Ukrainian]

Koval'chuk, M.S., Sukach, V.V., Kroshko, YU.V. (2012). Tipomorfni osoblivosti rozsipnogo zolota z buchac'kykh alyuvial'nykh vidkladiv Seredn'o-pridniprovs'koi granit-zelenokam'yanoi oblasti. *Mineralogichnij zbirk*, 62, 2, 93-101. [in Ukrainian]

Koval'chuk, M.S., Kroshko, YU.V. (2015). Apt-nizhn'oal'bs'ki ta eocenovi richkovi dolini central'noi chastini Ukrain'skogo shchita. *Visnik L'viv'skogo universitetu. Ser. Geologichna*, 29, 67-76. [in Ukrainian]

Lisenko, O.A. (2017). Rozsipni rodovishcha Ukrainy. Stan osvoyennya ta perspektivi naroshchuvannya i hn'ogo potencialu. *Zb. nauk. prac' UkrDGRI*, 3, 74-89. [in Ukrainian]

Lomakin, I.E., Kochelab, V.V. (2019). Tonkoe i dispersnoe zoloto osadchnogo chekhla severo-zapadnogo Prichernomor'ya. Problemy i perspektivy. *Geol. i koris. kopal. Svitovogo okeanu*, 1, 87-96. [in Russian]

Lomakin, I.E., Sarvirov, Ye.A., Kochelab, V.V. (2020). Aktual'ni pitannya poshuku rodovishch rozsipnogo zolota pivdny Ukrainy. *Geol. i koris. kopal. Svitovogo okeanu*, 4, 32-40. [in Ukrainian]

Maslakov, N.A., Ivanchenko, V.V., Belickaya, M.V., Gavrilyuk, I.V., Osmanov, E.M. (2016). Osobennosti melkogo i dispersnogo zolota iz osadochnykh porod Nizhnego Pridneprov'ya. *Geol. i koris. kopal. Svitovogo okeanu*, 2, 48-56. [in Russian]

Maslakov, M.O., Ivanchenko, V.V., Il'ina, A.S. (2017). Tonke ta dispersne zolote zrudennnya na pivnichno-zahidnomu uzberezhzhi CHornogo morya. *Geol. i koris. kopal. Svitovogo okeanu*, 4, 79-87. [in Ukrainian]

Opimah, R. (2020). Chi ye vidobutok zolota v Ukraini? Retrieved from <https://www.geo.gov.ua/chi-ye-vidobutok-zolota-v-ukraini/> [in Ukrainian]

Fedoronchuk, N.A. (2019). Tonkoe zoloto v donnykh otlozheniyah Dneprovskogo zheloba (Severo-Zapadnyj shelf' CHernogo morya): perspektivnost', morfologiya, genezis. *Geol. i koris. kopal. Svitovogo okeanu*, 3, 82-96. [in Russian]

SHnyukov, E.F., Kardash, V.T. (1994). Proyavlenie zolota v donnykh otlozheniyah akvatorii CHernogo morya. *Geol. zhurnal*, 3, 127-128. [in Russian]

SHnyukov, E.F., Maslakov, N.A., Kardash, V.T. (2000). Perspektivy YUzhno-Ukrainskoj provincii melkogo i tonkodispersnogo zolota. Prirodnye i tekhnogennye rossypi, mestorozhdeniya kory vyvetrivaniya na rubezhe tysyacheletij. M.: RKV, 391-392. [in Russian]

SHnyukov, E.F. (2001). Poiski mestorozhdenij melkogo i tonkogo zolota v Azovo-CHernomorskom regione – vazhnaya geologicheskaya problema XXI veka. *Geologicheskie problemy Chernogo morya*, Kiev, 11-22. [in Russian]

SHnyukov, E.F., Gavrilyuk, I.V., Maslakov, N.A., Krasnozina, Z.V., Lomakin, I.E. (2010). Zoloto v nedrah Kryma. Kiev: Logos. [in Russian]

Yushin, A.A. (1998). Platinoidy i zoloto rossypej i kor vyvetrivaniya – al'ternativnaya baza formirovaniya blagorodnometall'noj otrasli Ukrainy. *Sb. nauchn. trudov NGA Ukrainy*, Dnepropetrovsk, 3, 102-106. [in Russian]

Yushin, A.A. (1999). Osobennosti formirovaniya zoloto- i platinonosnykh rossypej Ukrain'skogo shchita. Problemy geologii i razvedki mestorozhdenij zolota, izvlecheniya blagorodnykh metallov iz rud i othodov proizvodstva. Ekaterinburg: UGGGA, 45-46. [in Russian]

Yushin, A.A., Reznik, V.P., Murov, I.A. (1999). Metally platinovoy grupy v zolotonosnykh osadkakh SZ shelf'a CHernogo morya. *Geol. i polez. iskop. Chernogo morya*, 227-230. [in Russian]

Yushin, A.A. (2000). Zoloto i platinoidy v mezo-kajnozojskikh platformennykh rossypakh Ukrainy: vozmozhnye istochniki i usloviya lokalizacii. Prirodnye i tekhnogennye rossypi i mestorozhdeniya kor vyvetrivaniya na rubezhe tysyacheletij. M.: IGEM RAN. 395-398. [in Russian]

Yushin, A.A. (2003). Prognozno-poiskovoe znachenie sootnoshenij otdel'nykh platinovykh metallov v porodah osadchnogo chekhla Ukrain'skogo shchita. *Mater. II nauk.-virobn. naradi "Svitlodar-2003"*, Kiiv: UkrDGRI, 223-226. [in Russian]

Yushin, A.A. (2005). Tonkoe zoloto v korah vyvetrivaniya v osadochnom chekhle Ukrain'skogo shchita i ego obramleniya. Rossypi i mestorozhdeniya kor vyvetrivaniya: fakty, problemy, resheniya. Perm': Izd-vo Perm. un-ta, 327-329. [in Russian]

Yushin, A.A., Prisyazhnyj, V.M., Kakaranza, S.D., Pashnyak, S.V., Semenov, P.V., Volkov, V.A. (2008). Opyt i problemy izucheniya i poiskov rossypej s melkim i tonkim zolotom v osadochnom chekhle severo-zapadnogo Prichernomor'ya. *Geol. i polez. iskop. Mirovogo okeana*, 2, 34-52. [in Russian]

Надійшла до редколегії 10.04.22

I. Lomakin, Dr. Sci. (Geol.),
E-mail: igorlomakin@gmail.com,
ORCID 0000-0003-2745-2579;
E. Sarvirov, Junior Researcher,
E-mail: easarvirov@gmail.com,
ORCID 0000-0001-5429-5834;
V. Kochelab, Senior Researcher,
E-mail: vldkochelab@gmail.com,
ORCID 0000-0002-4888-9297;
R. Medvedskij, Graduate Student,
E-mail: rostislavmedvedskij@gmail.com;
MorGeoEcoCenter NAS of Ukraine,
55-B O. Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

GOLD PLACERS IN THE SOUTH OF UKRAINE – CURRENT VIEWS AND PROSPECTS

The consistently high level of world gold prices against the background of depletion of reserves with easily extracted metal, lead to the need to introduce the industrial development of deposits with low-tech ores and sands. This requires improving the methodology of exploration and the use of efficient technologies for the enrichment and extraction of gold. The article is devoted to an important problem - the question of the real potential of placer gold in the south of Ukraine and its practical significance. An attempt is made on the basis of the analysis of the accumulated geological information to assess the quality of previously obtained results on loose gold of Ukraine. According to geological data, numerous manifestations of loose gold of various scales associated with sedimentary strata of Meso-Cenozoic sediments are widespread on the territory. It is noted that the geological study of placers in Ukraine was suspended during the lowest world gold prices - in the late 90's of last century - as a result of which many promising areas were left out. The authors refute the assertion that gold deposits on the Ukrainian Shield and in the Northern Black Sea Coast are of no industrial importance due to their low gold content. The negative assessment of placer gold content is due to the shortcomings of the methodology and test methods that were used in the work. The previously used exploratory model of "classic" gold placers does not correspond to the real properties of gold-bearing deposits in the sedimentary stratum. The predominant mass of gold of indigenous springs and placers of Ukraine belongs to small and thin classes of particle size distribution, and gold-bearing deposits have high clay content. In this regard, the deposition of gold occurred, as a rule, not in the subglacial part of the section of river valleys, but in the so-called "oblique" facies, which were almost not studied previously. The test used a mining method of gold extraction, which is not suitable for reliable determination of the gold content of small and fine grades. This led to a systematic underestimation of the gold content in the studied manifestations, as well as a significant reduction in the size of gold deposits. Therefore, a reassessment of previously obtained geological data is needed to determine the objective characteristics of the distribution and actual gold content in placers. Suggestions for further study of placers are given. Modern approaches to forecasting, studying and testing placers are considered, in particular, the use of data from remote sensing of the Earth, GIS-technologies and methods of neotectonic analysis for forecasting and searching for placers. The need to use separate determination of gold content depending on the particle size is emphasized.

Keywords: south of Ukraine, placers, disperse and fine gold, neotectonic analysis, concentrate enrichment, technological devices.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3(477.411):502.51(282.03):54.027
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.10>

О. Кошляков¹, д-р. геол. наук, проф.,
E-mail: kosh57@ukr.net;

Т. Кошлякова², канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,
Email: tatianakoshliakova@gmail.com;

О. Диняк¹, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: oksdyn@ukr.net;

І. Кошлякова¹, інженер,
E-mail: irkos@ukr.net;

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 34, м. Київ, 03142, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВОГО ТА ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ТРИТІУ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ЗМІН СТАНУ СЕНОМАН-КЕЛОВЕЙСЬКОГО КОМПЛЕКСУ ПІТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА КИЄВА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Представлене дослідження спрямоване на вивчення та встановлення просторово-часової зміни вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва та причин цих змін з метою виявлення особливостей водообміну та гідравлічної взаємодії між водоносними горизонтами неглибокого і глибокого залягання, а також між підземними і поверхневими водами. Внаслідок надмірного використання підземних вод відбулося формування у водоносному горизонті депресійних поверхонь гідродинамічних напорів, горизонти з напірних перетворюються в безнапірні, і виникає небезпека низхідної фільтрації та забруднення питних підземних вод. Також одним з наслідків формування згаданих депресій є погіршення якості води. Проте дослідити умови формування якісного складу глибокозаляглих питних водоносних горизонтів та встановити причини зміни стану підземних вод є складною і відповідальною задачею водночас.

Методи ізотопної гідрогеології входять до числа основних наукових методів, що використовуються для відстеження особливостей руху підземних вод і оцінки їх віку. Отримані ізотопними методами нові дані допомагають контролювати водні ресурси і дозволяють приймати такі рішення, які принесуть соціально-економічні переваги. Отримані дані вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу, наочно представлені у вигляді карт, дають можливість приймати обґрунтовані рішення щодо сталого управління ресурсами, а регулярний моніторинг хімічного і ізотопного складу підземних вод дозволяє виявити механізми їх поповнення і джерела забруднення, які раніше не враховувалися.

Результати, отримані авторами за допомогою статистичного і просторового аналізу вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 років свідчать, що на сьогодні у межах території м. Києва спостерігається позитивна тенденція до повільного поступового повернення сеноман-келовейського водоносного комплексу до свого природного стану.

Ключові слова: підземні води, ізотопні методи, тритій, гідродинамічні напори, сеноман-келовейський водоносний комплекс, вертикальний водообмін.

Вступ. З розвитком урбанізованих територій відбувається антропогенна зміна природного процесу формування запасів підземних вод. Функціонування систем водовідведення стічних вод, будівництво доріг, будівель призводить до того, що площа територій, на яких відбувається інфільтрація опадів, суттєво зменшується, а води, що надходять у водоносні горизонти, характеризуються вкрай високим рівнем забрудненості біогенними і неорганічними речовинами, нафтопродуктами та стійкими органічними забруднювачами.

Водночас найбільш складно дослідити умови формування якісного складу глибокозаляглих питних водоносних горизонтів та встановити причини зміни стану підземних вод. Перспективним напрямом досліджень тут може бути застосування ізотопних технологій (*IAEA bulletin ...*, 2019).

Вода, відповідно до походження та умов формування, має різні ізотопні ознаки, що залишають унікальний "слід". Різні ізотопи, що містяться у воді, виступають як "мітки", які можна використовувати для визначення джерела, віку, руху і взаємодії води як над землею, так і під нею. Ізотопні технології дозволяють оцінити оптимальність використання водних ресурсів, необхідних для сталого розвитку. За допомогою ізотопних методів вивчення компонент гідрогеологічного та гідрогеологічного циклу можливо краще оцінювати кількість, якість і стійкість водних ресурсів. Зокрема, використання ізотопів природного походження як індикаторів дозволяє з'ясувати шляхи поповнення підземних вод, їхнє походження,

напрямок фільтрації, ступінь захищеності (*Kambuku et al. 2003; Baresic et al., 2020*).

Постановка проблеми. Слід зазначити, що внаслідок антропогенної діяльності зростає інтенсивність і глибина водообміну (*Кошляков та ін., 2012*). Найнебезпечнішим наслідком надмірного використання підземних вод є той факт, що під час формування у водоносних горизонтах депресійних воронок виникає небезпека низхідної фільтрації забруднених ґрунтових вод за рахунок вертикального перерозподілу гідродинамічних напорів. Також одним із наслідків формування згаданих депресій є погіршення якості підземних вод. Отже, будь-яке забруднення, що формується в умовах населеного пункту, в тому числі забруднення ґрунтів, упродовж 10–20 років може призвести до надходження забруднювальних речовин до глибинних водоносних горизонтів.

Зокрема, експлуатація питних водоносних горизонтів на території м. Києва призвела до:

- зміни режиму і балансу підземних вод, що експлуатуються, і суміжних з ними водоносних горизонтів;
- формування великих депресій поверхонь гідродинамічних напорів;
- зміни напрямку руху підземного потоку (трансформація областей розвантаження в області живлення);
- зміни якості підземних вод по площі та в перерізі;
- зниження рівня ґрунтових вод та пов'язані із цим процеси зміни ландшафтних умов (*Кошляков та ін., 2012*).

© Кошляков О., Кошлякова Т., Диняк О., Кошлякова І., 2022

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підземні води сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Києва з кінця XIX ст. є важливим джерелом централізованого та бюветного питного водопостачання населення міста, тому вивчення особливостей гідрогеологічних змін стану комплексу в процесі тривалої експлуатації має дуже важливе значення. Сеноман-келовейський водоносний комплекс є більш ізольованим від зовнішніх джерел живлення порівняно з водоносним горизонтом у відкладах канівської і буцацької серій еоцену. Тому його експлуатація призводить до утворення більш великих та глибоких воронок депресії і відповідного перепаду гідродинамічних напорів. Останнє забезпечує більш активну низхідну фільтрацію через крейдяно-мергельну товщу верхньої крейди у таких зонах. У свою чергу, перебудова водообміну у водоносному горизонті у відкладах канівської і буцацької серій еоцену та сеноман-келовейському водоносному комплексу призвела також до антропогенних змін у крейдяно-мергельній товщі верхньої крейди, що їх розділяє.

Отже, внаслідок багаторічної експлуатації підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва у структурі водообміну відбулися істотні зміни (*Шестопалов і др., 1988*). У долинах річок у районах підземних водозаборів було зафіксовано найбільш значну інверсію потоку: зони природної висхідної фільтрації перетворилися місцями в ділянки активної низхідної фільтрації. Відмічалася також інтенсифікація низхідної фільтрації. Значною мірою змінилася структура латеральної фільтрації комплексу, швидкість якої у середньому зросла в 1,5 раза порівняно з природною.

За даними Ю.Ф. Руденка та ін. (*Руденко та ін., 2021*), річка Дніпро та Київське водосховище за роки інтенсивної експлуатації підземних вод перетворилися на потужні додаткові (а подекуди й основні) джерела живлення останніх. Це можна розглядати як один із гарантованих чинників формування експлуатаційних запасів підземних вод. Під впливом водовідбору відбулась значна інтенсифікація перетікання між водоносними горизонтами і комплексами, що вплинуло на проникність роздільних шарів і на швидкість відновлення рівнів за останні 20 років за значного зменшення експлуатації підземних вод.

За результатами власних досліджень авторів, зазначені вище зміни у структурі водообміну віддзеркалились у суттєвій зміні поверхні гідродинамічних напорів сеноман-келовейського водоносного комплексу, що ілюструється схематичними картами п'єзоізогіпс станом на 1960 р. та 2005 р. (*Koshliakova et al., 2015*). Станом на 2010 р. виявлено загальну тенденцію до погіршення класу якості води в межах території м. Києва та встановлено, що зміни основних компонентів хімічного складу підземних вод комплексу на території міста мають, як і зміни поверхні гідродинамічних напорів, нерівномірний за площею характер і залежать від інтенсивності експлуатації (*Koshliakov et al., 2014*). Тобто станом на 2005–2010 рр. зберігалася загальна тенденція погіршення екологічного стану сеноман-келовейського комплексу, головним чинником якого є довготривалий видобуток підземних вод.

Проте результати геолого-економічної переоцінки експлуатаційних запасів Київського родовища питних підземних вод, виконаної у 2017 р. (*Федоренко та ін., 2017*), свідчать про таке: порівняно з періодом проведення попереднього гідрогеологічного вивчення території Києва у 1972 р. (*Литвак і др., 1972*) видобуток підземних вод із сеноман-келовейського комплексу після

2008 р. значно скоротився (орієнтовно зменшився у 4 рази), а п'єзометрична поверхня підвищилася приблизно на 10,0–20,0 м. Тобто протягом останніх років внаслідок скорочення видобутку підземних вод спостерігається швидке відновлення гідродинамічних напорів досліджуваного водоносного комплексу. З цього можна зробити висновок, що за останні роки стан сеноман-келовейського водоносного комплексу поступово повертається до природного.

Якщо це дійсно так, то за останній період часу повинна також спостерігатися позитивна тенденція змін хімічного складу підземних вод комплексу в бік його повернення до природного стану. Передусім це повинно проявитися у зменшенні нерівномірності розподілу його компонентів по площі.

Метою досліджень є вивчення особливостей водообміну у водоносному комплексі сеноман-келовейських відкладів на основі дослідження часових і просторових змін вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 рр.

Методика та результати досліджень. Отримані ізотопними методами дані допомагають контролювати водні ресурси і дозволяють приймати оптимальні рішення щодо їх використання (*IAEA bulletin ..., 2019*). Методи ізотопної гідрогеології входять до числа основних наукових методів, що використовуються для відстеження особливостей руху підземних вод і оцінки віку наявних підземних вод (*Brkic et al., 1983; Schwientek et al., 2009*).

У зв'язку з цим авторами виконано порівняння вмісту радіоактивного ізотопу водню – тритію у сеноман-келовейському водоносному комплексі в 2014 та в 2017 рр. (*Koshliakova et al., 2021*). Було відібрано проби та розраховано вміст тритію у воді з бюветів міста, пробурених на сеноман-келовейський водоносний комплекс (77 проб у 2014 р. та 80 проб у 2017 р.) (рис. 1).

Порівняння здійснювалось за допомогою статистичної обробки отриманих даних про вміст тритію. Оскільки водоносний комплекс, що досліджується, на території міста має однорідну геологічну будову, а бюветні комплекси, що на нього улаштовані, розташовані статистично рівномірно і випадково, була використана модель випадкової величини.

Результати визначення тритію на 2014 та 2017 рр. розглядалися як окремі вибірки. Для кожної з них було розраховано такі величини: середнє арифметичне, вибіркове стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу. Результати наведено в табл. 1.

У результаті перевірки гіпотези про відповідність вибіркових розподілів нормальному закону розподілу за допомогою правила "трьох сигм" встановлено, що з імовірністю 0,99 не можна стверджувати, що вибірккові розподіли не підкоряються нормальному закону. Тому було прийнято гіпотезу про нормальність розподілу вмісту тритію для обох вибірок.

Далі було перевірено гіпотезу про належність згаданих вибірок до однієї генеральної сукупності за допомогою дисперсійного аналізу (застосований F-критерій Фішера) та порівняння середніх арифметичних (застосований t-критерій Стюдента). Якщо припустити, що протягом 2014–2017 рр. хімічний стан підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в цілому змінився, вибірки вмісту тритію не будуть належати до однієї генеральної сукупності.

У табл. 2 наведено результати розрахунків F-статистики Фішера та t-статистики Стюдента для порівняння вибірок.

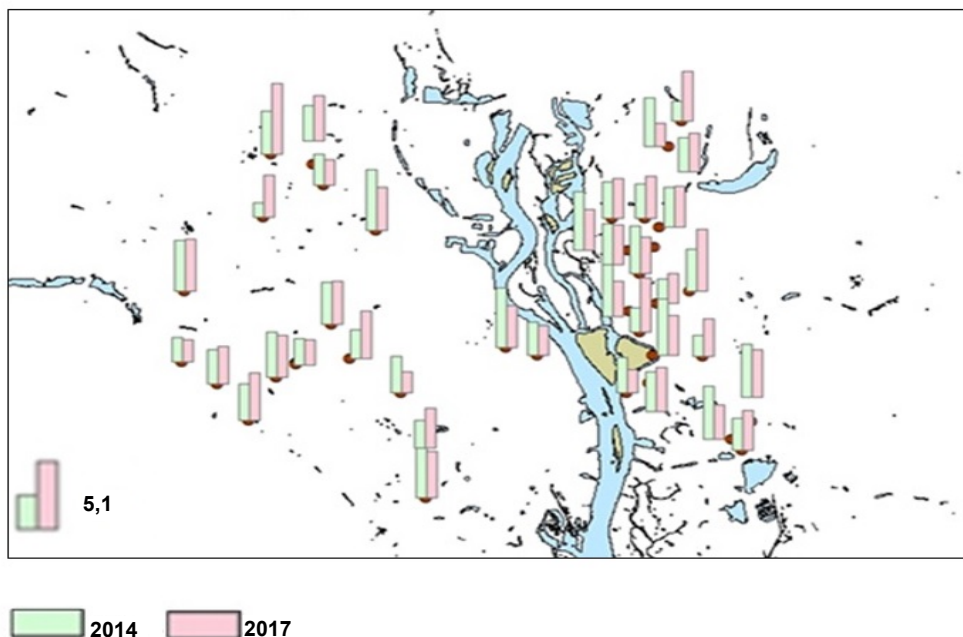


Рис. 1. Концентрація тритію у бюветних свердловинах м. Київ у 2014–2017 рр.

Таблиця 1

Результати розрахунків статистичних величин

Рік	Кількість визначень	Середнє арифметичне, Бк/дм ³	Стандартне відхилення, Бк/дм ³	Коефіцієнт асиметрії	Коефіцієнт ексцесу
2014	77	5,61	±1,746	0,143	-0,354
2017	80	5,50	±1,394	0,231	1,121

Таблиця 2

Результати розрахунків F-статистики Фішера та t-статистики Стьюдента

Рік	Кількість визначень	Дисперсія, (Бк/дм ³) ²	Середнє арифметичне, Бк/дм ³	F-статистика Фішера	t-статистика Стьюдента
2014	77	3,049	5,61	1,601	0,848
2017	80	1,943	5,50		

Аналіз результатів, наведених у табл. 2, показує, що вибірки не належать до однієї генеральної сукупності, оскільки їх дисперсії різні. Тому можна стверджувати, що протягом 2014–2017 рр. хімічний стан підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу загалом змінився.

Зменшення дисперсії вибірки вмісту тритію станом на 2017 р. порівняно з 2014 р. свідчить про те, що має місце зменшення нерівномірності розподілу тритію по площі на фоні незмінного середнього арифметичного значення. Саме це дає підстави вважати, що в останні роки на території в цілому існує позитивна тенденція змін хімічного стану підземних вод комплексу в бік його поступового повернення до природного стану (Koshliakova et al., 2021).

Для дослідження характеру змін вмісту тритію за площею протягом згаданого періоду часу було застосовано математичний апарат просторового аналізу і моделювання в геоінформаційних системах, реалізований за допомогою програмного засобу ArcGIC 10.4.1 (Dylniak et al., 2021).

Спочатку за наявними фактичними даними вмісту тритію було побудовано картограми вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва станом на 2014 та 2017 рр. Для побудови картограм застосований метод зворотних зважених відстаней (рис. 2).

Після цього виконано оверлейний аналіз, у результаті чого отримано схематичну картограму змін вмісту тритію у підземних водах за згаданий період часу. Автори враховували імовірну похибку вхідних даних та

математико-картографічних побудов, тому картограма створена за "принципом світлофору" способом якісного фону. Вона наочно показує, де відбулося збільшення вмісту тритію (червоний колір), де вміст зменшився (зелений колір), а де суттєвих змін не відбулося (жовтий колір) (рис. 3).

Отримані результати було проаналізовано з урахуванням геолого-гідрогеологічної будови території м. Києва, зміни динаміки водовідбору з водоносного комплексу сеноман-келовейських відкладів та висновків, що були зроблені на підставі попередньо згаданої статистичної обробки (Dylniak et al., 2021).

Аналіз наведеної схематичної картограми дозволяє стверджувати, що протягом 2014–2017 рр. на переважній частині території м. Києва відбулися зміни вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу. Причому в межах території, що наближена до р. Дніпро, переважає загальна тенденція до зменшення вмісту тритію, а в межах території, що віддалена від річки, вміст тритію збільшився.

З погляду геолого-гідрогеологічної будови території м. Києва збільшення вмісту тритію збігається або з більш захищеною від забруднення територією поширення водоносного комплексу (Федоренко та ін., 2017), або з ділянками старої забудови та промисловими зонами на лівому березі р. Дніпро.

Найінтенсивніше зменшення вмісту тритію спостерігається переважно у заплаві Дніпра.

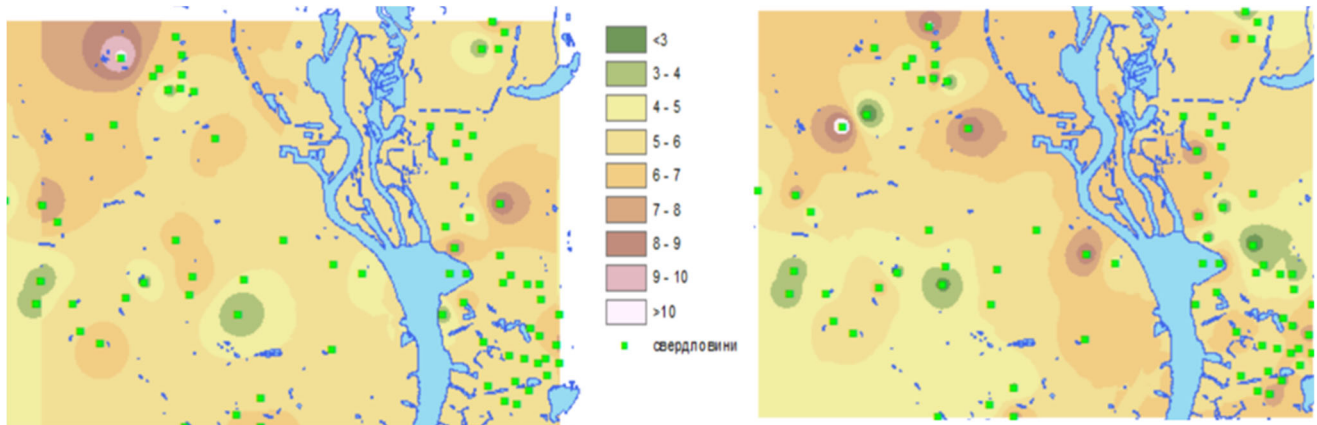


Рис. 2. Картограми вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва станом на 2014 та 2017 рр.

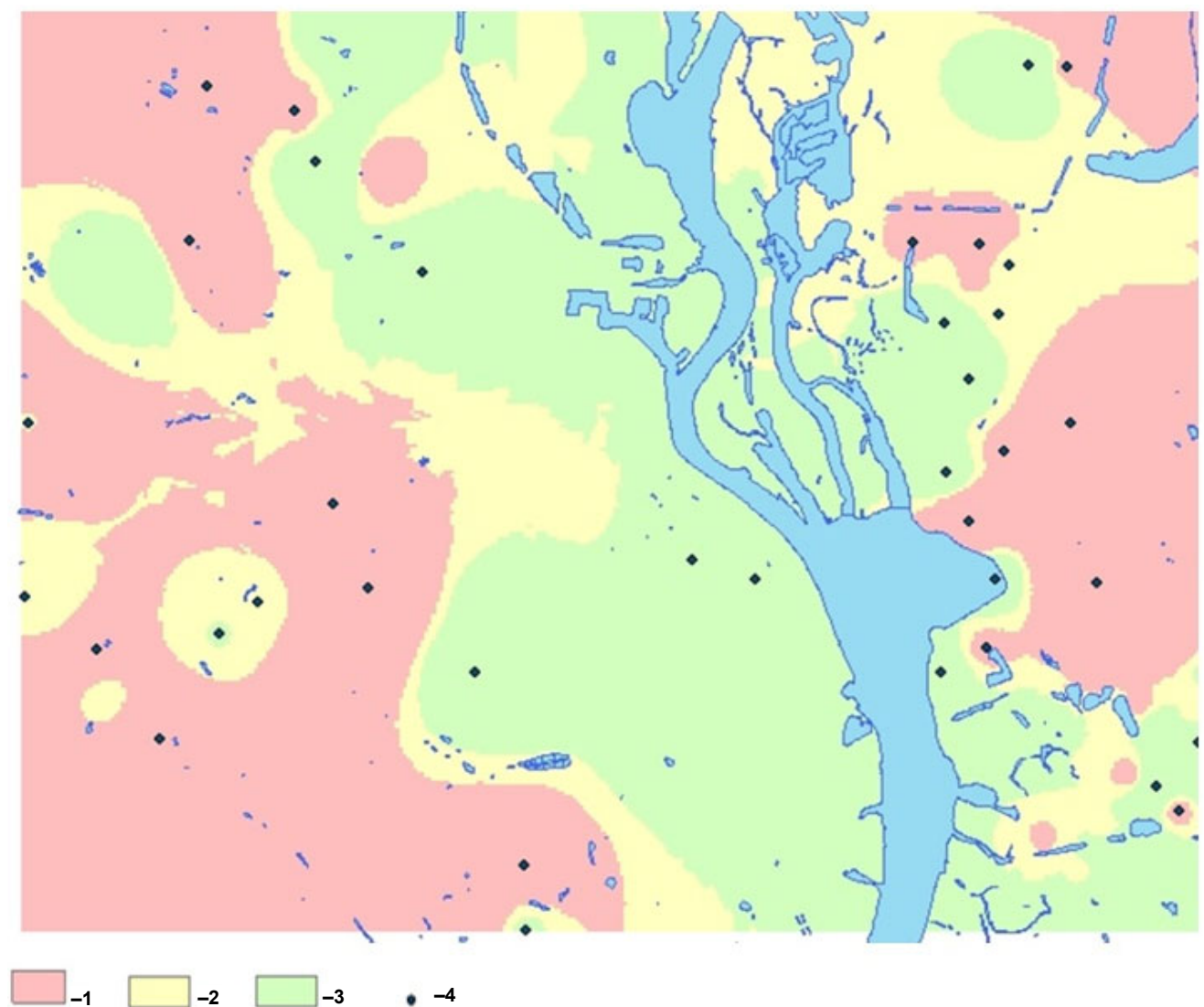


Рис. 3. Схематична картограма змін вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу протягом 2014–2017 років:
1 – вміст тритію збільшився, 2 – вміст тритію стабільний, 3 – вміст тритію зменшився, 4 – свердловини

Висновки. Використовуючи тритій під час вивчення стану водоносного комплексу сеноман-келовейських відкладів, отримано важливу інформацію про особливості водообміну та його загальної динаміки. На думку

авторів, виявлені зміни вмісту тритію протягом 2014–2017 рр. можна пояснити такими причинами:

1. Відомо, що в природному стані (наприкінці XIX ст.) р. Дніпро в межах території м. Києва являла собою

область розвантаження сеноман-келовейського водоносного комплексу, а внаслідок тривалої експлуатації вона поступово перетворилася переважно в область живлення. Відновлення гідродинамічних напорів водоносного комплексу, що відбувається за останні роки внаслідок скорочення видобутку підземних вод, викликало тренд поступового повернення гідродинамічного стану комплексу до природного. Отже, водообмін між підземними водами комплексу та поверхневими водами характеризується тенденцією до зменшення кількості поверхневої води, що потрапляє в підземні води. Відповідно, кількість тритію, джерелом якого є поверхневі води, у водоносному комплексі поблизу Дніпра зменшується в часі внаслідок латеральної фільтрації.

2. Зміна умов вертикального водообміну внаслідок скорочення видобутку підземних вод відбувається значно повільніше порівняно з латеральними змінами. Тому швидкість потрапляння тритію у підземні води водоносного комплексу внаслідок вертикального водообміну або суттєво не змінюється, або дещо збільшується на більш захищених від забруднення ділянках території та на ділянках з підвищеним техногенним навантаженням.

Отже, висновки, отримані за допомогою статистичного і просторового аналізу вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 рр., підтверджують, що на сьогоднішні у межах території м. Києва спостерігається позитивна тенденція до повільного поступового повернення сеноман-келовейського водоносного комплексу до свого природного стану.

Список використаних джерел

- Кошляков, О., Диняк, О., Кошлякова, І. (2012). Виснаження та забруднення питних водоносних горизонтів в умовах інтенсивної експлуатації на території м. Києва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 56, 38–42.
- Кошляков, О.Є., Кошлякова, Т.О. (2014). Виявлення динаміки змін хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу у м. Києві за допомогою методів математичної статистики. *Науковий вісник Національного аграрного університету*, 3(141), 5–10.
- Кошлякова, Т., Кошляков, О., Долін, В., Скрипкін, В. (2015). Оцінка інтенсивності водообміну в сеноман-келовейському водоносному комплексі на території м. Києва в умовах техногенного впливу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 68, 66–70. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.11.66-70>
- Литвак, Д.Р., Кузьменко, Г.А., Соловицький, В.Н. и др. (1972). Гидрогеологические условия и оценка эксплуатационных запасов подземных вод района г. Киева (по состоянию на 01.01.1972 г.). К., Министерство геологии УССР, Киевский геологоразведочный трест.
- Руденко, Ю.Ф., Шестопалов, В.М., Негода, Ю.О., Гураль, О.В. (2021). Рациональное использование эксплуатационных запасов подземных вод для водопостачання м. Київ. *Геологічний журнал*, 4, 29–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.240101>
- Федоренко, А.С., Буян, Н.Н., Нікіташ, Ю.О. (2017). Геолого-економічна переоцінка експлуатаційних запасів Київського родовища питних підземних вод для ПрАТ "Київводоканал" в м. Києві. Київська гідрогеологічна експедиція ДП "Українська геологічна компанія".
- Шестопалов, В.М., Ситников, А.Б., Лялько, В.И. и др. (1988). Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. В кн. В.М. Шестопалов (ред.) Методы изучения водообмена. Ин-т геологических наук, АН УССР. К.: Наукова думка.
- Baresic, J., Parlov, J., Kovac, Z., Sironic, A. (2020). Use of nuclear power plant released tritium as a groundwater tracer. *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1(35), 25–35. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.3>
- Brkic, Z., Kuhta, M., Hunjak, T., Larva, O. (1983). Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. *Water*, 7(12), 58–65. <https://doi.org/10.3390/w12071983>
- Dyniak, O., Koshliakova, T., Koshliakova, I., Koshliakov, O. (2021). Spatial analysis and modeling of tritium content in groundwater of Senoman-Callovian aquatic complex on the territory of Kyiv for the purpose of assessing changes in its ecological condition in time. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of*

the Environment", 17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2055>

IAEA bulletin 60-1 April 2019. Water. (2019). Отримано з <https://www.iaea.org/bulletin/60-1>

Kambuku, D., Tsujimura, M., Kagawa, S., Mdala, H. (2003). Corroborating stable isotopic data with pumping test data to investigate recharge and groundwater flow processes in a fractured rock aquifer, Rivirivi Catchment, Malawi. *Environmental Earth Sciences*, 6(77), 34–42. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7403-9>

Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2021). Tritium content as indicator of Cenomanian-Callovian groundwater complex state changes as a result of long-term operation within Kyiv city. *20th International Conference Geoinformatics "Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2021, Kiev, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521053>

Schwientek, M., Maloszewski, P., Einsiedl, F. (2009). Effect of the unsaturated zone thickness on the distribution of water mean transit times in a porous aquifer. *Journal of Hydrology*, 3-4(373), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.015>

References

- Baresic, J., Parlov, J., Kovac, Z., Sironic, A. (2020). Use of nuclear power plant released tritium as a groundwater tracer. *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1(35), 25–35. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.3>
- Brkic, Z., Kuhta, M., Hunjak, T., Larva, O. (1983). Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. *Water*, 7(12), 58–65. <https://doi.org/10.3390/w12071983>
- Dyniak, O., Koshliakova, T., Koshliakova, I., Koshliakov, O. (2021). Spatial analysis and modeling of tritium content in groundwater of Senoman-Callovian aquatic complex on the territory of Kyiv for the purpose of assessing changes in its ecological condition in time. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2055>
- Fedorenko, A.S., Buyan, N.N., Nikitash, Yu.O. (2017). Geological-economical reevaluation of operational reserves of Kyiv potable groundwater field for PJSC "AK Kyivvodokanal" in Kyiv city. *Kyiv hydrogeological expedition of SI "Ukrainian Geological Company"*. [in Ukrainian]
- IAEA bulletin 60-1 April 2019. Water. (2019). Retrieved from <https://www.iaea.org/bulletin/60-1>
- Kambuku, D., Tsujimura, M., Kagawa, S., Mdala, H. (2003). Corroborating stable isotopic data with pumping test data to investigate recharge and groundwater flow processes in a fractured rock aquifer, Rivirivi Catchment, Malawi. *Environmental Earth Sciences*, 6(77), 34–42. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7403-9>
- Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2012). Depletion and contamination of drinking water aquifers under intensive exploitation on the territory of Kyiv. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv / Geology*, 1 (56), 38–42. [in Ukrainian]
- Koshliakov, O.Ye., Koshliakova, T.O., (2014). Revelation of cenomanian-callovian ground water complex chemical composition changes dynamics in Kyiv by mathematical statistics methods using. *Naukoviy visnyk Natsionalnogo gimnychogo universytetu, Dnipropetrovsk*, 3(141), 5–10. [in Ukrainian]
- Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2021). Tritium content as indicator of Cenomanian-Callovian groundwater complex state changes as a result of long-term operation within Kyiv city. *20th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2021, Kiev, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521053>
- Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dolin, V. and Skrypkin, V. (2015). Man-made impact and water cycle rates in Cenomanian-Callovian groundwater complex (Kyiv). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(68), 66–70. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.11.66-70> [in Ukrainian]
- Litvak, D.R., Kuzmenko, G.A., Solovitskiy, V.N. et al., (1972). Hydrogeological conditions and useful ground water resources estimation for Kyiv city territory (for state of January 1, 1972). *Ministerstvo geologii USSR, Kievskiy geologorazvedochnyy trest*, Kyiv. [In Russian]
- Rudenko, Yu.F., Shestopalov, V.M., Negoda, Iu.A., Gural, O.V. (2021). On the rational use of exploitable drinking groundwater reserves for water supply to the city of Kyiv. *Geological Journal*, 4, 29–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.240101> [in Ukrainian]
- Schwientek, M., Maloszewski, P., Einsiedl, F. (2009). Effect of the unsaturated zone thickness on the distribution of water mean transit times in a porous aquifer. *Journal of Hydrology*, 3-4(373), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.015>
- Shestopalov, V.M., Sitnikov, A.B., Lyalko, V.I. et al. (1988). Water cycle in hydrogeological structures of Ukraine. In *Water cycle investigation methods*. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian].

Надійшла до редколегії 02.03.22

O. Koshliakov¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: kosh57@ukr.net;
T. Koshliakova², PhD (Geol.), Senior Researcher,
Email: tatianakoshliakova@gmail.com;
O. Dyniak¹, Cand. Sci. (Geo), Assoc. Prof.,
E-mail: oksdyn @ukr.net;
I. Koshliakova¹, Engineer,
E-mail: irkos@ukr.net;

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;

²M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine,
34, Ac. Palladin Ave., Kyiv, 03142, Ukraine

EXPERIENCE OF ISOTOPE TECHNOLOGIES APPLICATION TO STUDY CHANGES IN DEEP-WATER POTABLE AQUIFERS STATE WITHIN KYIV IN CONDITIONS OF LONG-TERM OPERATION

The presented research is devoted to study and establishment of the spatiotemporal change of tritium content in groundwater of Cenomanian-Callovian groundwater complex in Kyiv and the causes of these changes in order to identify water exchange features and hydraulic interaction between shallow and deep aquifers, as well as between groundwater and surface waters. Due to the excessive use of groundwater, depressive surfaces of hydrodynamic pressures have formed, aquifers are transforming from pressure head to pressureless, and there is a danger of downward filtration and contamination of potable groundwater. Also, one of the effects of these depressions formation is deterioration of water quality. However, to study the conditions of the qualitative composition formation of deep potable aquifers and to identify the causes of changes in groundwater status is a difficult and responsible task at the same time.

Methods of isotopic hydrogeology are among the main scientific methods used to track the peculiarities of groundwater movement and assess their age. The new data obtained by isotopic methods help to control water resources and allow to make such decisions that will bring socio-economic benefits. The obtained data of tritium content in groundwater of Cenomanian-Callovian groundwater complex, clearly presented in the form of maps, allow to make informed decisions on sustainable resource management, and regular monitoring of chemical and isotopic composition of groundwater reveals mechanisms of recharge and sources of pollution, which were not taken into account before.

The results obtained by the authors through statistical and spatial analysis of tritium content in groundwater during 2014-2017, indicate that currently within the territory of Kyiv there is a positive trend towards a slow gradual return of Cenomanian-Callovian groundwater complex to its natural state.

Keywords: groundwater, isotopic methods, tritium, hydrodynamic pressures, Cenomanian-Callovian groundwater complex, vertical water exchange.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.3 (519.21)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.11>

Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,

E-mail: zoya_vyzhva@ukr.net;

V. Demidov, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,

E-mail: fondad@ukr.net;Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;

A. Vyzhva, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Chief Specialist,

E-mail: motomustanger@ukr.net;

"UkrNDI-gaz", Kyiv, Ukraine

STATISTICAL SIMULATION OF RANDOM FIELD ON 2D AREA WITH GENERALIZED GNEITING TYPE CORRELATION FUNCTION IN THE GEOPHYSICAL PROBLEM OF ENVIRONMENT MONITORING

*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)**Due to the increasing number of natural and technogenic disasters the development of geological environment monitoring system is actual using modern mathematical tools and information technology.**The local monitoring of potentially dangerous objects is an important part of the overall environment monitoring system.**Complex geophysical research was conducted on Rivne NPP area. Among these monitoring observations radioisotope study of soil density and humidity near the perimeter of buildings is of the greatest interest.**In this case a problem was occurred to supplement simulated data that were received at the control of chalky strata density changes at the research industrial area with use of radioisotope methods on a grid that included 29 wells.**This problem was solved in this work by statistical simulation method that provides the ability to display values (random field on a plane) in any point of the monitoring area. The chalk strata averaged density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement optimal in the mean square sense correlation function generalized Gneiting type.**In this paper the method is used and the model and procedure were developed with enough adequate data for generalized Gneiting type correlation function.**The model and algorithm were developed and examples of karst-suffusion phenomena statistical simulation were given in the problem of density chalk strata monitoring at the Rivne NPP area. The statistical model of averaged density chalk strata distribution was built in the plane and statistical simulation algorithm was developed using generalized Gneiting type correlation function based on spectral decomposition. The research subject realizations were obtained with required detail and regularity at the observation grid based on the developed software. Statistical analysis of the numerical simulation results was done and tested for its adequacy.***Keywords:** Statistical simulation, generalized Gneiting type correlation function, spectral decomposition, conditional maps.

Introduction. Due to the increasing number of dangerous natural and technogenic disasters the development of geological environment monitoring system is actual using modern mathematical tools and information technology.

The local monitoring of potentially dangerous objects is an important part of the overall environment monitoring system.

When monitoring of such objects a lot of problems were raised, for example, such as the lack of some data in the database, or insufficient quantity or necessity to supplement the database without conducting additional research.

The Department of Geophysics at Institute of Geology and Mathematics of Taras Shevchenko National University of Kyiv in recent years developed theoretical and methodological application basics of statistical simulation in the development of geological environment monitoring.

Theoretical aspects of capacity use of statistical simulation of solving problems in the work of Geophysics are considered in (Yadrenko, 1983; Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva, 2003, 2011). Practical testing on real data density chalky strata on the territory of the Rivne NPP was carried out for the fields on the plane - in the (Vyzhva et al., 2004), but using only Bessel correlation function and Cauchy functions (Vyzhva et al., 2014, 2017) and the Whittle-Matern type correlation function (Vyzhva et al., 2019). In this paper, the method and the model and procedure involving enough adequate in the mean square sense data correlation function generalized Gneiting type (Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010; Vyzhva et al., 2021) are used.

We should note, that methods of random field's statistical simulation were used in geosciences problems in works:

(Mantoglov, Wilson, 1981; Chiles, Delfiner, 1999; Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010; Wackernagel, 2003; Vyzhva et al., 2010, 2017) and other.

Problem of karst-suffusion phenomena monitoring at Rivne NPP area.

The complex geophysical research was conducted on Rivne NPP area. Among these monitoring observations radioisotope study of soil density and humidity near the perimeter of buildings is of the greatest interest. The soil density was determined by gamma-gamma well logging, soil humidity - by neutron-neutron logging.

In this case (Vyzhva et al., 2017) a problem occurred to supplement simulated data that were received at the control of chalky strata density changes at the research industrial area with use of radioisotope methods on a grid that included 29 wells. Schematic representation of the measurement results at the object that was investigated, and the well locations are shown on Fig. 1. These data are obviously not enough to represent the overall picture of the chalk strata, where due to the aggressive water action the karst-suffusion processes were significantly intensified.

This problem was solved in works (Vyzhva et al., 2004) and (Vyzhva et al., 2017) by statistical simulation method that provides the ability to display values (random field on a plane) in any point of the monitoring area. The chalk strata averaged density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement of the Bessel type correlation function (Vyzhva et al., 2004), Cauchy correlation function (Vyzhva et al., 2016, 2017) and the Whittle-Matern type correlation function (Vyzhva et al., 2019).

This work continues development of methods for statistical simulation, involving optimal in the mean square

© Vyzhva Z., Demidov V., Vyzhva A., 2022

sense correlation function generalized Gneiting type that is well-known in geostatistic works (Chiles, Delfiner, 1999; Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010).

This operation was done for data array of density chalk strata in 1984-2002 years' for 29 wells at Rivne NPP industrial area and depth is 28 m below the surface.

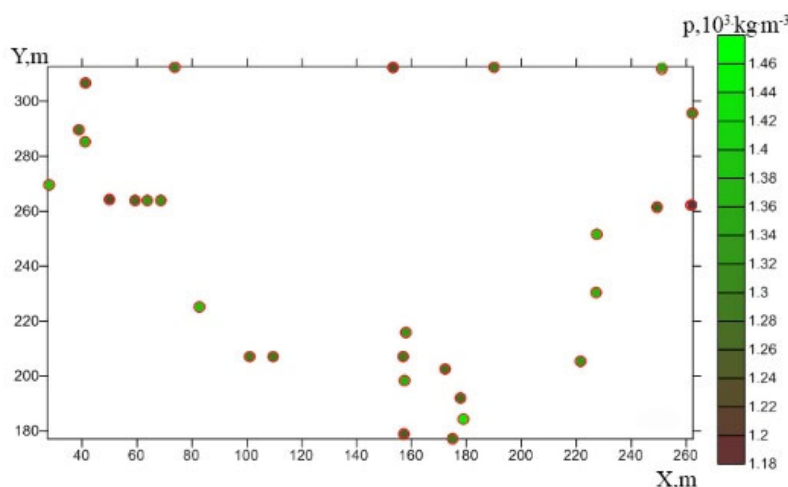


Fig. 1. Observation points and chalk strata averaged density at industrial area of Rivne NPP

The method of solving the problem. Data of density chalky strata was divided (Vyzhva et al., 2017) into deterministic and random components. Deterministic function can be selected by the method of approaching the minimum curve (separation of the trend). The difference between the map of input density values and the trend is in most cases a homogeneous isotropic random field. With the assumption that the input data is a random field $\eta(\bar{x})$, then we express them through a random component $\xi(\bar{x})$ (so-called "noise" random field) and trend $f(\bar{x})$ as a deterministic function as follows:

$$\eta(\bar{x}) = f(\bar{x}) + \xi(\bar{x})$$

Thus, the problem has been reduced to simulation of random component $\xi(\bar{x})$, which in most cases is a homogeneous and isotropic.

Consider the same approach as in (Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva et al., 2004; Vyzhva, 2011). We use the method of statistical simulation of random fields, which are homogenous and isotropic, based on their spectral decomposition. By means of the obtained values of realizations, this technique allows to find the perfect image of these isotropic fields in the whole observation interval.

It is necessary to make the statistical analysis to build the model and procedure of statistical data simulation at observation area. If the verified data has distribution density with approximately Gaussian type, then procedure can be used, which is developed in (Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva et al., 2004; Vyzhva, 2011) to generate on the computer realizations of the simulated data by means of standard normal random variable sequences.

At first the distribution is determined. The preliminary statistical analysis of data shows that the distribution histogram of chalky strata density at the Rivne industrial area (29 boreholes) approximately has Gaussian distribution (Fig. 2).

The use of authors' techniques of statistical simulation implies preliminary statistical data processing to determine its statistical characteristics: the mathematical expectation and the correlation function. If the hypothesis of Gaussian distribution of the investigated field is confirmed, then the mathematical expectation and the correlation function completely define this field and give us the opportunity to build the adequate statistical model, which is based on spectral decomposition of random functions. The principles of constructing the models and procedures are described below.

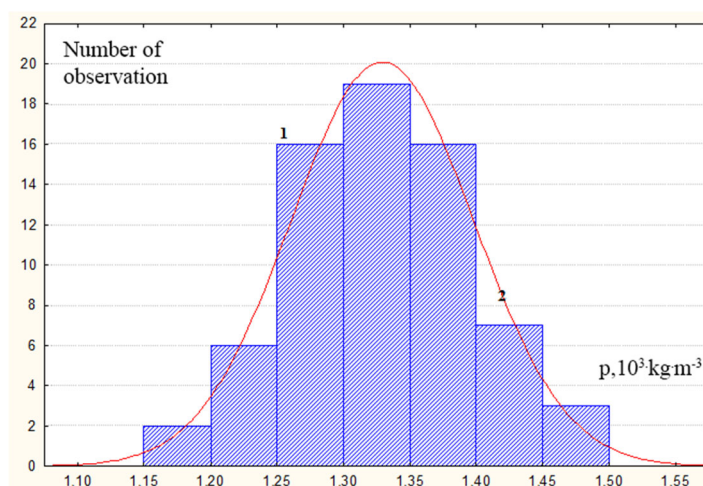


Fig. 2. Histogram of the chalky strata density (averaged data for all years of observation): 1 – the number of observations in a separate range of density; 2 – theoretical Gaussian curve

Then statistical models were chosen for the data correlation function for distribution of chalky strata density in the flat observation area. This function is defined by comparing the mean square approximation of the empirical and theoretical variograms. As result the input data was most adequately described by means of 5 types of correlation functions: the holeeffect correlation function (1) at the value of parameter $c = 1,4$, the Bessel correlation function (2) at the value of parameter $a = 5$, the Cauchy correlation function (3) at the value of parameter $a = 1$, the Whittle-Matern type correlation function (4) at the value of parameter $c = 1$:

$$B(\rho) = \exp(c\rho)\cos(c\rho), \quad c = 1,4; \quad (1)$$

$$B(\rho) = J_0(a\rho), \quad a = 5; \quad (2)$$

where $J_k(x)$ is the Bessel function of the first kind of order $k = 0$.

$$B(\rho) = \frac{a^4}{(a^4 + \rho^2)^2}, \quad a = 1; \quad (3)$$

$$B(\rho) = \frac{2^{1-\frac{3}{2}}}{\Gamma(\frac{3}{2})} (c\rho)^{\frac{3}{2}} K_{\frac{3}{2}}(c\rho), \quad c = 1; \quad (4)$$

where $K_{\frac{3}{2}}(z)$ is a modified Hankel function of order $3/2$ and c is parameter.

In this paper we used enough adequate data generalized Gneiting type correlation function:

$$B(\rho) = (1 + 7\rho)(1 - \rho)^7, \quad 1 \geq \rho \geq 0. \quad (5)$$

Note that the generalized Gneiting family model (Gneiting, 1997) is:

$$B(\rho) = (1 + (b+1)\rho)(1 - \rho)^{(b+1)}, \quad b \geq \frac{d+2a+1}{2}, \quad d = 2, a = 1, \quad (6)$$

where a and b are parameters, d is dimension of space.

Then such spectral density $f(\lambda)$ for homogeneous isotropic random field $\xi(\bar{x})$ in 2D space is calculated (Vyzhva et al., 2017) by conducting the following formula:

$$f(\lambda) = \lambda \int_0^\infty x J_0(\lambda x) B(x) dx, \quad (7)$$

where $J_k(x)$ is the Bessel function of the first kind of order $k = 0$.

Thus the spectral density, which is corresponding to the generalized Gneiting type correlation function (5), is by using (7):

$$f(\lambda) = \lambda \int_0^\infty \rho J_0(\lambda \rho) (1 + 7\rho)(1 - \rho)^7 d\rho. \quad (8)$$

The spectral coefficients of generalized Gneiting correlation function, which according to correlation function (5), are determined by calculating the integral:

$$b_k(r) = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi (1 + 14r \sin \varphi)(1 - 2r \sin \varphi)^7 \cos 2k\varphi d\varphi \quad (9)$$

Note, that we used the formula for spectral coefficients as an integral of correlation function (Grikh (Vyzhva) et al., 1993):

$$b_k(r) = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi B(2r \sin \varphi) \cos 2k\varphi d\varphi, \quad k = 1, 2, \dots \quad (10)$$

Variograms figures of input data of chalky strata density, that correspond to the: holeeffect (1) correlation function (the mean square approximation is 0,000742); Bessel (2) correlation function (the mean square approximation is 0,0008599); Cauchy (3) correlation function (the mean square approximation is 0,002816) were given in paper (Vyzhva et al., 2019). Variograms of this input data, that correspond to the Whittle-Matern type correlation function (4) (the mean square approximation is 0,000311), were built by using the R software and geoR package Plots were presented at Figure 3, according to this types correlation function variograms of the random component of investigation data.

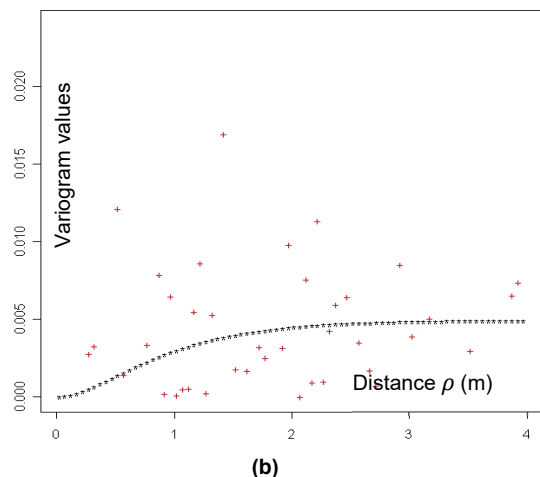
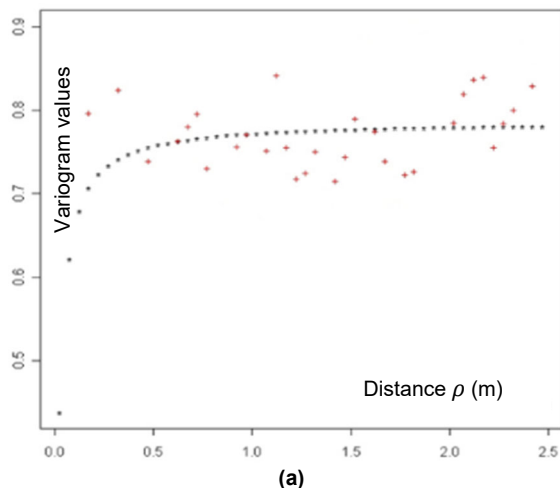


Fig. 3. Variograms of input data of the chalky strata, that corresponding to the:

- (a) the Cauchy (3) correlation function at the value of parameter $a = 1$ (standard deviation - 0,002816);
(b) the Whittle-Matern type (4) correlation function at the value of parameter $c = 1$ (standard deviation - 0,000311)

The model of random field on 2D area with the generalized Gneiting type correlation function and the numerical simulation procedure. The realizations of random field $\xi(\bar{x}) = \xi(r, \varphi)$ on 2D area with the correlation function generalized Gneiting type (5) are generated. The statistical simulation was performed by the technique of spectral decomposition and finding of spectral coefficients.

From the spectral theory (Vyzhva, 2011) it follows that the model of random fields on a plane with such correlation functions is a sum of:

$$\xi_N(r, \varphi) = \sum_{k=0}^N \sqrt{v_k b_k(r)} [\zeta_k(r) \cos k\varphi + \eta_k(r) \sin k\varphi] \quad (11)$$

where: $v_k = \begin{cases} 1, & k = 0. \\ 2, & k > 0 \end{cases}$

• r and φ ($r \in R_+$, $\varphi \in [0, 2\pi]$) are polar coordinates of the point x on the plane (includes observation area), and the distance ρ between the points $x_1 = (r_1, \varphi_1)$ and $x_2 = (r_2, \varphi_2)$ equals

$$\rho = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)};$$

• N is an integer number (the number of the summands in the model), the value of N is determined by the prescribed small number ε (approximation accuracy) by the inequality from paper (Grikh (Vyzhva) et al., 1993), which is the

estimate of the mean square approximation of random field $\xi(r, \varphi)$ by partial sums $\xi_N(r, \varphi)$;

- $b_k(r)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) are the spectral coefficients in form of (9), which correspond to correlation function generalized Gneiting type (5) of random field $\xi(r, \varphi)$.

The procedure of numerical simulation the realizations of the data field random component, by means of the abovementioned model (11), was conducted by using the Spectr 2.1 software, which is described in (Vyzhva *et al.*, 2004).

The value of number N for the constructed model is determined by the inequality, which is the estimate of the mean square approximation of random field $\xi(r, \varphi)$ by partial sums $\xi_N(r, \varphi)$. This number N corresponds to the prescribed small number ε (approximation accuracy). The mentioned inequality was obtained in work (Grikh (Vyzhva) *et al.*, 1993) and in form of:

$$M[\xi(r, \varphi) - \xi_N(r, \varphi)]^2 \leq \frac{1}{\pi N} (r\mu_1 + r^2\mu_2), \quad (12)$$

where $\mu_k = \int_0^\infty \lambda^k f(\lambda) d\lambda$, ($f(\lambda)$ - is spectral density of the random field $\xi(r, \varphi)$). (13)

We define dependence number N on r and ε in the case of generalized Gneiting type correlation function (5). It is necessary to calculate the values of μ_k , $k = 1, 2$ for the inequality (7), by using the density of distribution (8).

Then the calculated values ($B(\rho)$ - generalized Gneiting type correlation function (5)) hold:

$$\mu_1 = \int_0^\infty \lambda f(\lambda) d\lambda = \int_0^\infty \lambda^2 \int_0^\infty x f_0(\lambda x) B(x) dx d\lambda; \quad (14)$$

$$\mu_2 = \int_0^\infty \lambda^2 f(\lambda) d\lambda = \int_0^\infty \lambda^3 \int_0^\infty x f_0(\lambda x) B(x) dx d\lambda. \quad (15)$$

Consequently, the estimate of the mean square approximation of the random field $\xi(r, \varphi)$ with generalized Gneiting type correlation function (5) by the partial sums $\xi_N(r, \varphi)$ has the following representation:

$$N(r, \varepsilon) \geq \frac{1}{\pi \varepsilon} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right), \quad (16)$$

where μ_k , $k = 1, 2$ are the values (14) and (15).

The statistical simulation procedure of Gaussian homogeneous isotropic random field $\xi(r, \varphi)$ on the plane was built by means of the model (11) and the estimate (12). This random field is determined by its statistical characteristics: the mathematical expectation and the generalized Gneiting type correlation function $B(\rho)$ (5).

Procedure.

1) The positive integer number N is determined corresponding to the prescribed accuracy ε and by using inequality (16), where r is a radius of the point on the plane in which the realization of the random field $\xi(r, \varphi)$ is generated. The integer number N equals 59 by using the prescribed accuracy $\varepsilon = 5 \times 10^{-2}$.

2) We calculated the spectral coefficients $b_k(r)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N$), $N = 59$, in form of (9), which correspond to generalized Gneiting type correlation function (5).

3) We generate values of the standard normal random variables $\{\zeta_k, k = 0, 1, 2, \dots, 59\}$ and $\{\eta_k, k = 0, 1, 2, \dots, 59\}$.

4) We calculate the realization of the random field $\xi(r, \varphi)$ in points (r_i, φ_j) , $i = 1, \dots, 10$; $j = 0, \dots, 9 \in R^2$ and evaluate the expression (11) by substituting in it values which were found in the previous steps, $r_i = 0.1 \times i$, $i = 1, \dots, 10$; $\varphi_j = j \times \frac{2\pi}{10}$, $j = 0, \dots, 9$.

5) The statistical estimate of the correlation function is obtained by the realizations of the random $\xi(r, \varphi)$. This estimate compares with a given generalized Gneiting type correlation function (5) and provides the statistical analysis the adequacy of realization.

Note that the procedure can be applied to random fields with another type of distribution. Then the random variables $\{\zeta_k(r), k = 0, 1, 2, \dots, N\}$ and $\{\eta_k(r), k = 0, 1, 2, \dots, N\}$ should be distributed by corresponding type of distribution.

The original Spectr software, based on the results of the statistical data processing and the mentioned procedure for the simulation values of such data realization in the two-dimensional case, was developed in Python, where selected generalized Gneiting type correlation function (5) was used.

The following Fig. 4 presents the semivariogram plot of the separated random data component of chalky strata density according to the generalized Gneiting type correlation functions (5).

Fig. 5 presents the variogram plot of the simulated random data component of chalky strata density according to the generalized Gneiting type correlation functions (5).

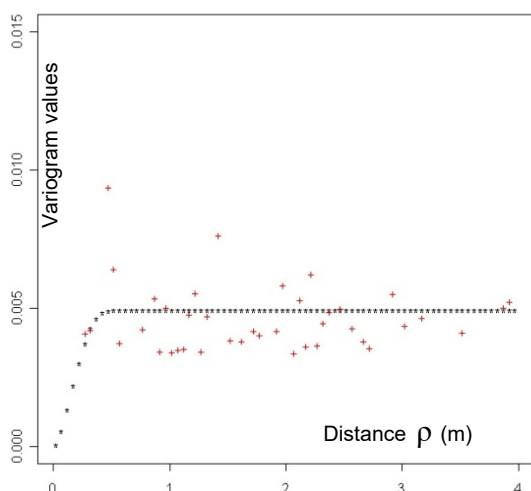


Fig. 4. Semivariogram of separated random component input data of the chalky strata density, that corresponding to the generalized Gneiting type correlation function at values of parameter $a = 1$ (standard deviation $1,51E-06$)

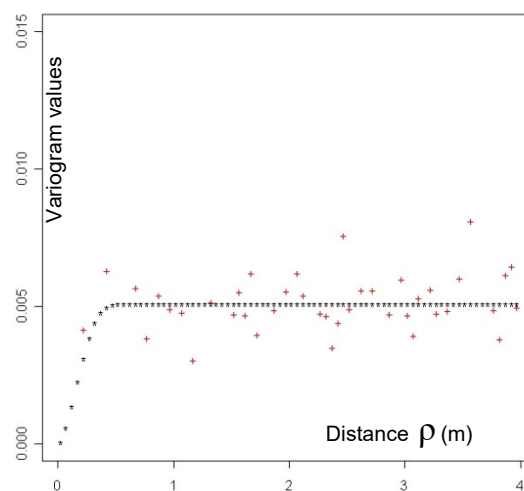


Fig. 5. Semivariogram of simulated data arrays of the chalky strata density, that corresponding to the generalized Gneiting type correlation function at values of parameter $a = 1$ (standard deviation $1,01E-06$)

The results, which were obtained by the simulating procedure, are displayed in Figure 6. Figure 6 (a) presents an example of constructed map of chalky strata density according to observations data boreholes (averaged data over the years to 29 boreholes at 28 m) by Surfer software. Using available data accuracy of this construction cannot provide a reliable characteristic of the chalky strata status, because the number of measurement results is not sufficient.

Fig. 6 (b) presents the contours of equal values of chalky strata density based on simulated data including values of the anchor boreholes by means of calculating the spectral coefficients of generalized Gneiting type correlation function. Additionally, the output data (160 simulated values in intervals between the observation points of this level) can have more reliable approximation that enables more informed decisions about the status of chalky strata and determines places for testing and additional research.

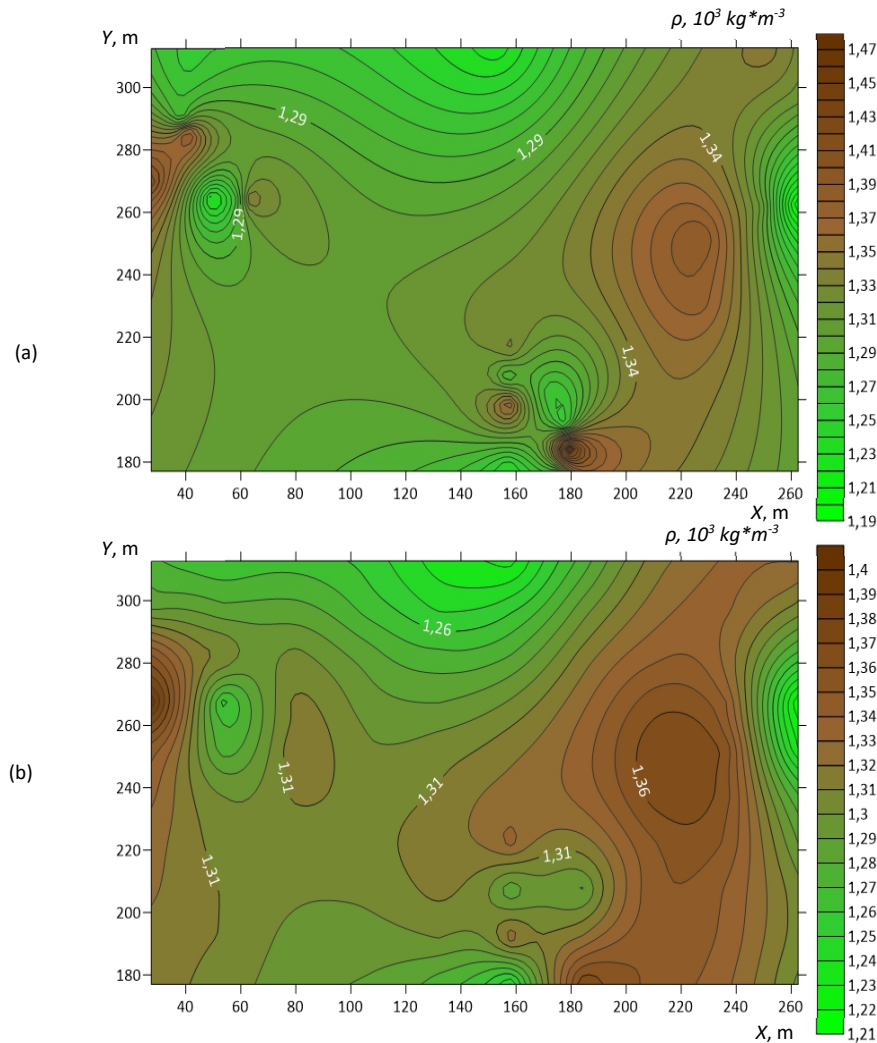


Fig. 6. The distribution of chalky strata density is on the industrial area of Rivne nuclear power plant at a depth of 28 m from the surface, according to the averaged data of 29 observational boreholes over 1984–2004 years (a), for the simulated data based on the values in secure boreholes by generalized Gneiting type spectral coefficients (b)

The results present that the chosen model of the chalky strata density data is rather adequate (standard deviation $1,01E-06$). The developed Spectr2_1 software works with sufficient accuracy.

Conclusions. The theory, techniques and procedure of statistical simulation of random fields on the plane by using optimal in the mean square sense the generalized Gneiting type correlation function can significantly increase the effectiveness of monitoring observations on the territory of potentially dangerous objects. This makes it possible to simulate the values in the area between regime observation grids and abroad, adequately describe real geological processes.

The method of statistical simulation of random fields with the generalized Gneiting type correlation function allows complementing data with a given accuracy. It can also be used to detect abnormal areas.

There are several other fields of statistical simulation methods application in geosciences. Among them primary are soil science and environmental magnetism (Menshov et al., 2015).

References

- Вижва, З.О. (2011). Статистичне моделювання випадкових процесів та полів. К.: Обрії.
- Вижва, З.О. Демидов, В.К., Вижва, А.С. (2004). Статистичне моделювання карстово-суфозійних процесів на території потенційно небезпечних об'єктів. *Геоінформатика*, 2, 78–85.
- Вижва, З.О. Демидов, В.К., Вижва, А.С. (2014). Дослідження густини крейдяної товщі методом Монте-Карло на промайданчику Рівненської

АЕС із застосуванням моделі Коші. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(65), 62-67.

Chiles, J.P., Delfiner, P. (1999). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. New York, Toronto, John Wiley & Sons Inc.

Gneiting, T., Kleiber, W., Schlather, M. (2010). Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields. *Journal of the American Statistical Association*, 105, 1167-1177.

Gneiting, T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften. Genehmigte Abhandlung.

Grikh, Z., (Vyzhva, Z.), Yadrenko, M., Yadrenko, O. (1993). About Approximation and Statistical Simulation of Isotropic Fields. *Random Operators and Stochastic Equations*, 1, 1, 37-45.

Mantoglov, A. Wilson, J.L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. "MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rep.", N 264.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59, 614-627.

Vyzhva, Z., Demidov, V., Vyzhva, A. (2019). Statistical simulation of random field on 2D area with Whittle-Matern type correlation function in the geophysical problem of environment monitoring. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(86), 55-61.

Vyzhva, Z., Demidov, V., Vyzhva, A., Fedorenko, K. (1917). Statistical Simulation of 2D random field with Cauchy correlation function in the geophysics problem of environment monitoring. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(76), 93-99.

Vyzhva, Z.O. (2003). About Approximation of 3-D Random Fields and Statistical Simulation. *Random Operator and Stochastic Equation*, 4, 3, 255-266.

Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2010). The statistical simulation of random fields on the plane in the problems of geophysics. *9th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*.

Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2021). The Statistical Simulation of 2-D Random Fields with Generalized Gneiting Correlation Function in the Geophysics Problem of Environment Monitoring. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 17-19 November 2021, Kyiv, Ukraine.

Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics*, third edition. Berlin: Springer-Verlag.

Yadrenko, M.Y. (1983). *Spectral theory of random fields. Optimization Software Inc., Publications Division, New York.*

References

Chiles, J.P., Delfiner, P. (1999). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. New York, Toronto, John Wiley & Sons Inc.

3. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

E-mail: zoia_vyzhva@ukr.net;

В. Демидов, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: fondad@ukr.net;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

А. Вижва, канд. фіз.-мат. наук, головний фахівець,

E-mail: motomustanger@ukr.net;

"УкрНДІ-газ", м. Київ, Україна

Gneiting, T., Kleiber, W., Schlather, M. (2010). Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields. *Journal of the American Statistical Association*, 105, 1167-1177.

Gneiting, T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften. Genehmigte Abhandlung.

Grikh, Z., (Vyzhva, Z.), Yadrenko, M., Yadrenko, O. (1993). About Approximation and Statistical Simulation of Isotropic Fields. *Random Operators and Stochastic Equations*, 1, 1, 37-45.

Mantoglov, A. Wilson, J.L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. "MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rep.", N 264.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59, 614-627.

Vyzhva, Z., Demidov, V., Vyzhva, A. (2019). Statistical simulation of random field on 2D area with Whittle-Matern type correlation function in the geophysical problem of environment monitoring. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(86), 55-61.

Vyzhva, Z., Demidov, V., Vyzhva, A., Fedorenko, K. (1917). Statistical Simulation of 2D random field with Cauchy correlation function in the geophysics problem of environment monitoring. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(76), 93-99.

Vyzhva, Z.O. (2003). About Approximation of 3-D Random Fields and Statistical Simulation. *Random Operator and Stochastic Equation*, 4, 3, 255-266.

Vyzhva, Z.O. (2011). The Statistical Simulation of Random Processes and Fields. Kyiv: Obrii. [In Ukrainian]

Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2014). Monte Carlo method and Cauchy model identifying chalk layer density on Rynne NPP. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (65), 62- 67. [In Ukrainian]

Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2010). The statistical simulation of random fields on the plane in the problems of geophysics. *9th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*.

Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2021). The Statistical Simulation of 2-D Random Fields with Generalized Gneiting Correlation Function in the Geophysics Problem of Environment Monitoring. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 17-19 November 2021, Kyiv, Ukraine.

Vyzhva, Z.O., Vyzhva, S.A., Demidov, V.K. (2004). The statistical simulation of karst suffosion processes on territory potentially dangerous objects. *Geoinformatica*, 2, 78-85. [In Ukrainian]

Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics*, third edition. Berlin: Springer-Verlag.

Yadrenko, M.Y. (1983). *Spectral theory of random fields. Optimization Software Inc., Publications Division, New York.*

Надійшла до редколегії 03.04.22

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ В ДВОВИМІРНІЙ ОБЛАСТІ З КОРЕЛЯЦІЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ УЗАГАЛЬНЕНОГО ТИПУ ГНЕЙТІНГА В ГЕОФІЗИЧНІЙ ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

У зв'язку зі зростанням кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарату та інформаційних технологій. У загальній системі моніторингу довкілля важливою складовою є локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів.

На території розміщення Рівненської АЕС проводиться комплекс геофізичних досліджень. Серед таких моніторингових спостережень найбільший інтерес становлять радіоізотопні дослідження густини та вологості ґрунтів по периметру збудованих споруд. Водночас виникла проблема доповнення моделюванням даних, які отримано при контролі зміни густини крейдяної товщі на території досліджуваного проммайданчика з використанням радіоізотопних методів по сітці, що включала 29 свердловин. Таку проблему було вирішено у роботі методом статистичного моделювання, який надає можливість відображати явище (випадкове поле на площині) у будь-якій точці області спостереження. При цьому моделювалися усереднені значення густини крейдяної товщі на території проммайданчика із використанням побудованої моделі та залученням оптимальної в середньому квадратичному наближенні кореляційної функції узагальненого типу Гнейтінга.

Розроблено алгоритм та приклад статистичного моделювання карстово-суфозійних явищ у задачі моніторингу густини крейдяної товщі на території Рівненської АЕС. За спектральним розкладом побудовано статистичну модель розподілу усередненої густини крейдяної товщі на площині та розроблено алгоритм статистичного моделювання з використанням функцій узагальненого типу Гнейтінга. На базі розробленого програмного забезпечення реалізації предмета дослідження на сітці спостережень отримано необхідну детальність та результативність. Проведено статистичний аналіз результатів чисельного моделювання та їх перевірка на адекватність.

Ключові слова: статистичне моделювання, кореляційна функція узагальненого типу Гнейтінга, спектральний розклад, кондиційність карт.

УДК 556+502+528.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.12>

І. Черевко, канд. геол. наук,
E-mail: ira071165@yahoo.com,
Національний заповідник "Києво-Печерська Лавра",
вул. Лаврська, 9, 01015, м. Київ, Україна;
В. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com;
П. Трофименко, д-р с.-г. наук, доц.,
E-mail: trofimenkopetr@ukr.net;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, 03022, м. Київ, Україна;
І. Пампуха, канд. техн. наук, доц.,
E-mail: ramp@ukr.net;
Б. Попков, канд. військ. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: popkov.b.a@gmail.com;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Військовий інститут, вул. Ломоносова, 81, м. Київ, Україна, 03189;
В. Гудак, студ.,
E-mail: VassiaGudak@gmail.com,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, 03022, м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ БАЗИ ГЕОДАНИХ РЕЖИМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИМИ УМОВАМИ ТЕРИТОРІЇ КИЄВО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ ТА ЇЇ АНАЛІЗ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

Підземні та ґрунтові води є найбільш динамічним і вразливим компонентом геологічного середовища, який у масштабі реального часу реагує на зміни природних і природно-антропогенних факторів та зумовлює виникнення і активізацію небезпечних геологічних процесів, зокрема таких, як зсуви, просідання, підтоплення та ін. З метою оцінки впливу різних чинників на розвиток і активізацію екзогенних геологічних процесів, у першу чергу найбільш швидкоплинних, окрім метеорологічних умов (кількість опадів, їх розподіл за сезонами року) беруться до уваги гідрогеологічні умови та найбільш мінливий з показників – рівень ґрунтових вод.

Постійний моніторинг території вимагає розв'язання безлічі доволі складних різнопланових задач, у тому числі обґрунтованого і комплексного прогнозування розвитку змін під впливом фізичних, хімічних та біологічних факторів на основі сучасних інформаційних технологій.

Зважаючи на те, що територія Національного заповідника "Києво-Печерська лавра" має складний рельєф з перепадом висот з півдня на північний схід у реальних вимірах 74,5 м, для досягнення кінцевої мети необхідно вести постійний моніторинг та проводити протизсувні роботи, здійснювати заходи з відведення поверхневих вод, замінювати комунікації водопостачання та водовідведення, визначати вплив зміни режиму ґрунтових вод на стан території. Оптимізувати цей багатоплановий процес може геобазу даних, використання та ведення якої дозволить приділяти головну увагу вивченню гідрогеологічних умов, зокрема – режиму ґрунтових вод та характеру поширення водоносних горизонтів.

Ключові слова: рівні ґрунтових вод, екзогенні геологічні процеси, поширення водоносного горизонту, гідрогеологічні умови, геоінформаційна система.

Вступ. Підземні та ґрунтові води є найбільш динамічним і вразливим компонентом геологічного середовища, який у масштабі реального часу реагує на зміни природних і природно-антропогенних факторів та зумовлює виникнення і активізацію небезпечних геологічних процесів, зокрема таких, як зсуви, підтоплення та ін. (Кошляков, 2011). Вхідну інформацію для цільового вивчення підземних вод отримують під час виконання спеціальних досліджень, зокрема моніторингових. Поширення та активізація небезпечних геологічних процесів, що розвиваються під впливом природних чинників, тісно пов'язані з кількістю атмосферних опадів та їх розподілом за сезонами року, режимом випадання, температурними змінами у внутрішньорічному і багаторічному розрізі та режимом ґрунтових вод.

Для якісного виконання цих завдань слід проаналізувати та оптимізувати технологічні схеми застосування геоінформаційних технологій (ГІТ) у моделюванні та прогнозуванні.

У роботі (Kumar, Singh, 2015) наголошено, що використання моделей є переважним чинником у галузі дослідження екзогенних геологічних процесів (ЕГП), особливо для широкого спектра гідрогеологічних умов. Загалом, моделі – це концептуальні описи чи

наближення, що описують фізичні системи за допомогою математичних рівнянь; вони не є точними описами фізичних систем чи процесів. Математично представляючи спрощену версію гідрогеологічної системи, можна передбачити, випробувати та порівняти розумні альтернативні сценарії. Застосовуваність або корисність моделі залежить від того, наскільки близько математичні рівняння наближають фізичну систему, що моделюється. Для того щоб оцінити застосовність чи корисність моделі, необхідне глибоке розуміння фізичної системи та припущень, закладених при виведенні математичних рівнянь. Моделі підземних вод описують процеси ґрунтових вод і транспортних процесів, використовуючи математичні рівняння, засновані на певних спрощеннях припущень. Ці припущення зазвичай включають напрям потоку, геометрію водоносного шару, неоднорідність або анізотропію опадів або порід у межах водоносного шару, механізми транспортування забруднювальних речовин та хімічні реакції (Tauxe, 1994).

Через спрощені припущення, закладені в математичних рівняннях, і безліч невизначеностей у значеннях даних, що вимагаються моделлю, модель повинна розглядатися як апроксимація, а не точне дублювання польових умов (Зацерковний та ін., 2017). Моделі

підземних вод, однак, навіть як наближення є корисним інструментом дослідження, який можна використовувати для низки застосувань:

- водний баланс (у перерахунку на кількість води);
- кількісні аспекти ненасиченої зони;
- моделювання водного потоку та хімічної міграції в насиченій зоні, включаючи відношення річка–ґрунт;
- оцінку впливу змін режимів ґрунтових вод у навколишньому середовищі;
- створення/оптимізація мереж моніторингу та створення зон захисту ґрунтових вод.

Існуючі методи вивчення гідрогеодинамічної складової базуються на врахуванні переважно детермінованих характеристик потоків підземних вод. Важливо розуміти загальні аспекти як моделей потоку підземних вод, так і транспортних моделей, для того, щоб застосування або оцінка цих моделей виконувалась правильно. Тому увесь процес побудови моделей підземних вод можна охарактеризувати як два різні процеси (Kumar, Singh, 2015). Перший процес – це розробка моделі, що приводить до отримання програмного продукту, а другий – застосування цього продукту для конкретної мети (рис. 1). Моделі підземних вод найефективніше розробляються в логічній послідовності.

Важливим є те, що моделювання іноді вимагає використання декількох типів програмного забезпечення. Якщо говорити про моделювання підземних вод, то до різних типів належать (Kumar, 2019):

- "модельний" скрипт, який вирішує рівняння потоку підземних вод та/або транспортування розчинених речовин;
- GUI, що полегшує підготовку файлів даних для модельного скрипта, запускає код моделі та дозволяє візуалізацію та аналіз результатів (модельні прогнози);
- програмне забезпечення для обробки просторових даних, таких як ГІС, і програмне забезпечення для представлення гідрогеологічних концептуальних моделей;
- програмне забезпечення, що підтримує калібрування моделі, аналіз невизначеності;
- програмне забезпечення, що дозволяє виконувати додаткові розрахунки.

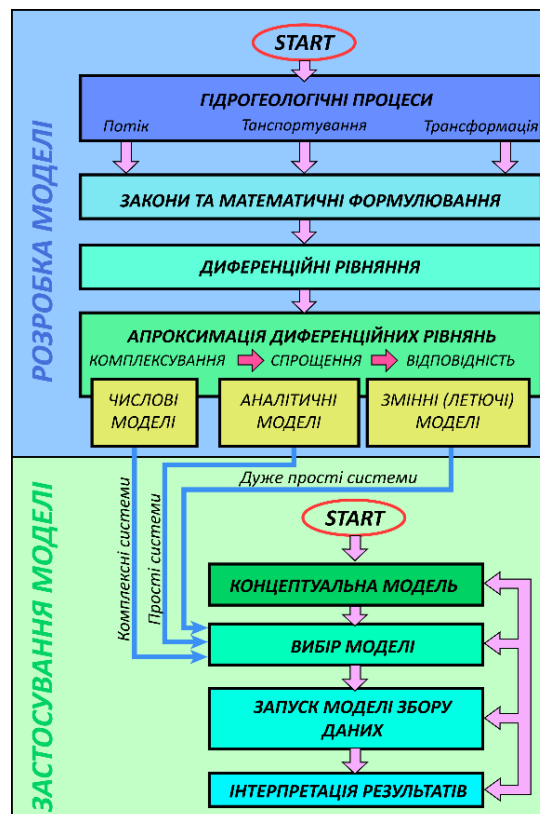


Рис. 1. Алгоритм розробки моделі (Kumar, Singh, 2015)

Геоінформаційний підхід до вирішення гідрогеологічних завдань передбачає використання геоінформаційних систем при збиранні, обробці і збереженні інформації для створення гідрогеологічних математичних моделей та просторового аналізу в ГІС. Тобто ГІС використовується з метою інформаційної підтримки під час створення та функціонування гідрогеологічних математичних моделей (переважно постійно діючих) і систем гідрогеологічного моніторингу, що вдало узагальнено на рис. 2.

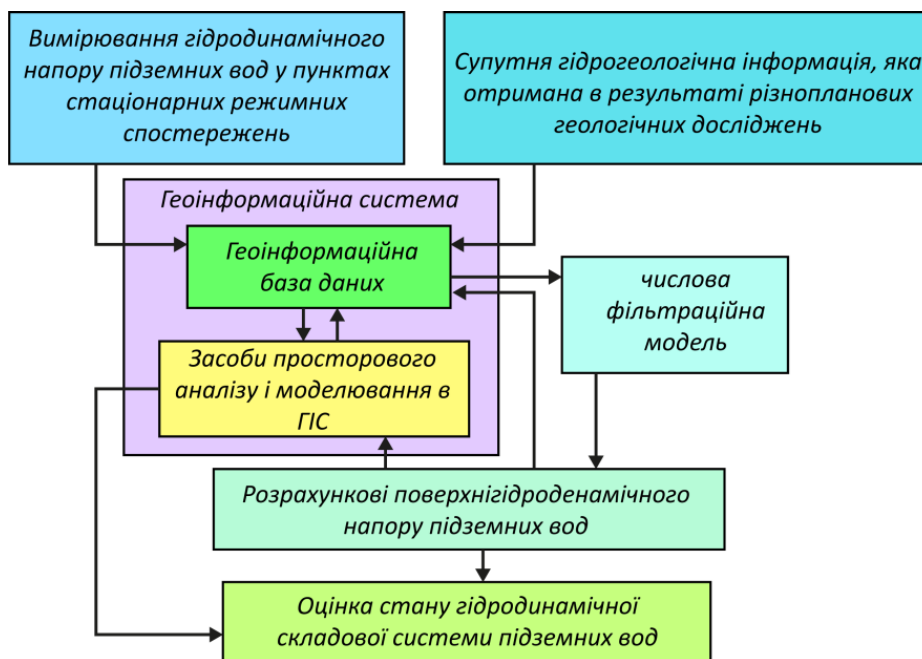


Рис. 2. Схема застосування гідрогеологічного моніторингу підземних вод на основі геоінформаційного підходу (Кошляков, 2011)

Актуальність дослідження. Актуальність полягає в обґрунтуванні необхідності створення, ведення та використання геобаз даних для задач комплексного моніторингу та прогнозування ЕГП, оскільки головну увагу потрібно приділяти вивченню гідрогеологічних умов, зокрема режиму ґрунтових вод та характеру поширення водоносних горизонтів.

Завданнями роботи є :

- аналіз та обробка масиву даних режимних спостережень за РГВ на території Києво-Печерської лаври за тривалий період часу (1990–2020 рр.);
- практичне застосування, інтерпретація та експериментально-дослідне моделювання отриманих результатів для встановлення зон поширення ЕГП на досліджуваній території.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню використання ГІС для розв'язання окремих задач із моделювання та вивчення різноманітних гідрогеологічних та геологічних об'єктів і процесів присвячені праці P.A. Burrough, K.W. Chaud, L.P. Konikow, C.P. Kumar, A. Jarna, D.F. Merriam, C. Soulsby, J. Tauxe, D. Tetzlaff та ін. Але оскільки при цьому використовується дуже велика кількість різних за поставленими завданнями методик, то аналіз можливостей їх використання для розв'язку тих або інших задач ще далекий від завершення.

Проте, незважаючи на широкий спектр проведених досліджень, подальшого розвитку потребують теоретико-методичні підходи щодо визначення впливу зміни режиму ґрунтових вод на стан території, особливо в умовах гідрогеологічної неоднорідності досліджуваних ділянок.

Мета роботи – інтерпретація даних багаторічних спостережень за режимами поверхневих і ґрунтових вод з визначенням чинників впливу, які призводять до порушення гідрогеологічних умов та розвитку ЕГП на території Києво-Печерської лаври та виділення ділянок, для яких характерне поширення негативних екзогенних процесів.

Геологічні та гідрогеологічні умови території Києво-Печерської лаври. Перший етап будь-якого дослідження небезпечних ЕГП та власне ґрунтових вод складається зі збору всіх існуючих геологічних та гідрогеологічних даних щодо відповідного басейну підземних вод. Це, передусім, стосується інформації про геологічну будову території, опади, землекористування, рослинність, характеристики та межі водоносних горизонтів, якість ґрунтових вод. Якщо таких даних не існує або вони дуже мізерні, спочатку слід проводити програму польових робіт, оскільки жодна модель не має сенсу, якщо вона не базується на раціональній гідрогеологічній концепції басейну (Tetzlaff et al., 2014). Вся архівна та новітня інформація використовується для розробки концептуальної моделі. Тому слід детально вивчити територію дослідження, ґрунтовно визначивши всі можливі природні та геологічні фактори, що прямо чи опосередковано впливають на даний регіон.

У межах зони історичної забудови Києва виділено три орографічні області: Придніпровська височина, Поліська та Придніпровська низовини. У геологічній будові території беруть участь відклади палеогенової, неогенової і четвертинної систем. Для території Києво-Печерської лаври за даними буріння (Левашов та ін., 2008) встановлено, що в геологічній будові беруть участь:

- неогенові відклади (N) – представлені морськими утвореннями новопетрівської світи (N1pt) – пісковики, в товщі яких висічені печерні комплекси;

- четвертинні відклади (Q) – представлені товщею субаеральних бурих глин (Q1);

- техногенні голоценові утворення (t IV) – представлені насипними ґрунтами зі значними вмістом будівельних відходів.

Геологічну будову, умови, форми залягання шарів та їх потужність показано на інженерно-геологічних розрізах (рис. 3).

Територія досліджень розташована у північно-західній частині Дніпровського артезіанського басейну в зоні зчленування Українського щита і Дніпровсько-Донецької западини, складеної доволі потужною товщею осадових порід. До цих відкладів приурочено декілька водоносних горизонтів, що відрізняються один від одного літологічним складом вмісних порід, умовами циркуляції і розвантаження підземних вод. Окрім того, на території досліджень зустрічаються слабопроникні породи, які складають регіональні та локальні водотривкі верстви (відрізняються обмеженням по площі поширенням на окремих ділянках). Місцями, переважно на вододілах, зустрічається верховодка, приурочена, головним чином, до еолово-делювіальних суглинків, що формується у зоні аерації (Костюченко та Мокієнко, 2014).

На основі даних про рівні перших від поверхні водоносних горизонтів, отриманих у результаті спостережень за рівнями ґрунтових вод у режимних та розвідувальних свердловинах, пробурених різними організаціями (Київ-проект, СУППР, КГГП Мінгео, ІГН НАН України) за період з 1978 по 2001 р., виділяються шість водоносних горизонтів і три слабопроникних пласта.

На території Києво-Печерської лаври поширені такі водоносні ґрунтові горизонти (рис. 4):

- 1) у четвертинних еолово-делювіальних і озерно-льодовикових відкладах на плато (Верхня Лавра, верхня частина схилів, Гостинний двір, Дальньопечерний пагорб);
- 2) у четвертинних делювіальних ґрунтах на схилах;
- 3) повсюдно – в олігоценових (харківських) пісках (Левашов та ін., 2005).

Виклад основного матеріалу. Вихідними даними виступають багаторічні режимні спостереження за рівнями підземних та ґрунтових вод на території Національного заповідника "Києво-Печерська лавра", що проводились мережею режимних водопунктів. Зокрема, використано дані замірів РГВ у пробурених на території заповідника свердловинах, які проводились у період з вересня 1990 по березень 2020 р. Періодичність виконання замірів даного масиву становить у середньому 3-4 рази за місяць для кожної із свердловин. Відповідно ця інформаційна основа являє собою досить великий масив значень (31 свердловина, для кожної із яких близько 1300 значень), який для оптимізації подальшої роботи необхідно проаналізувати та інтерпретувати.

На етапі первинної обробки даних моніторингових спостережень, метою якої є впорядкування даних поодиноких спостережень і обчислення основних параметрів режиму підземних вод, виконують складання таблиць даних фактичних спостережень; побудову для кожної спостережної точки хронологічних графіків РГВ, обчислення за графіками основних параметрів режиму підземних вод. У таблиці даних фактичних спостережень вказують номери і місце розташування пунктів спостережень, тобто свердловин, всі числові значення показників РГВ, а також дати, коли виконано ці виміри. За цими даними виконують побудову графіків із вилученням аномальних свердловин в ПЗ Tableau (рис. 5), які ілюструють сезонний хід мілливості.

Як видно із наведених графіків, коливання рівня ґрунтових вод зазвичай мають циклічний характер. Так, найвищі рівні спостерігаються навесні кожного року, а найнижчі – у зимовий період. На основі аналізу фактичних даних встановлено таке. РГВ у межах Верхньої Лаври сягають відміток 178,0–181,0 м, за весь період

найвищі рівні спостерігались у 1996 та 2008–2009 рр. В останні роки довготривалі підйоми рівнів фіксувались у свердловинах, розташованих найближче до вул. Лаврської (w1, w2, w102, w103). Багаторічна амплітуда коливань по режимній свердловині № 1 (w1) склала 1,7 м.

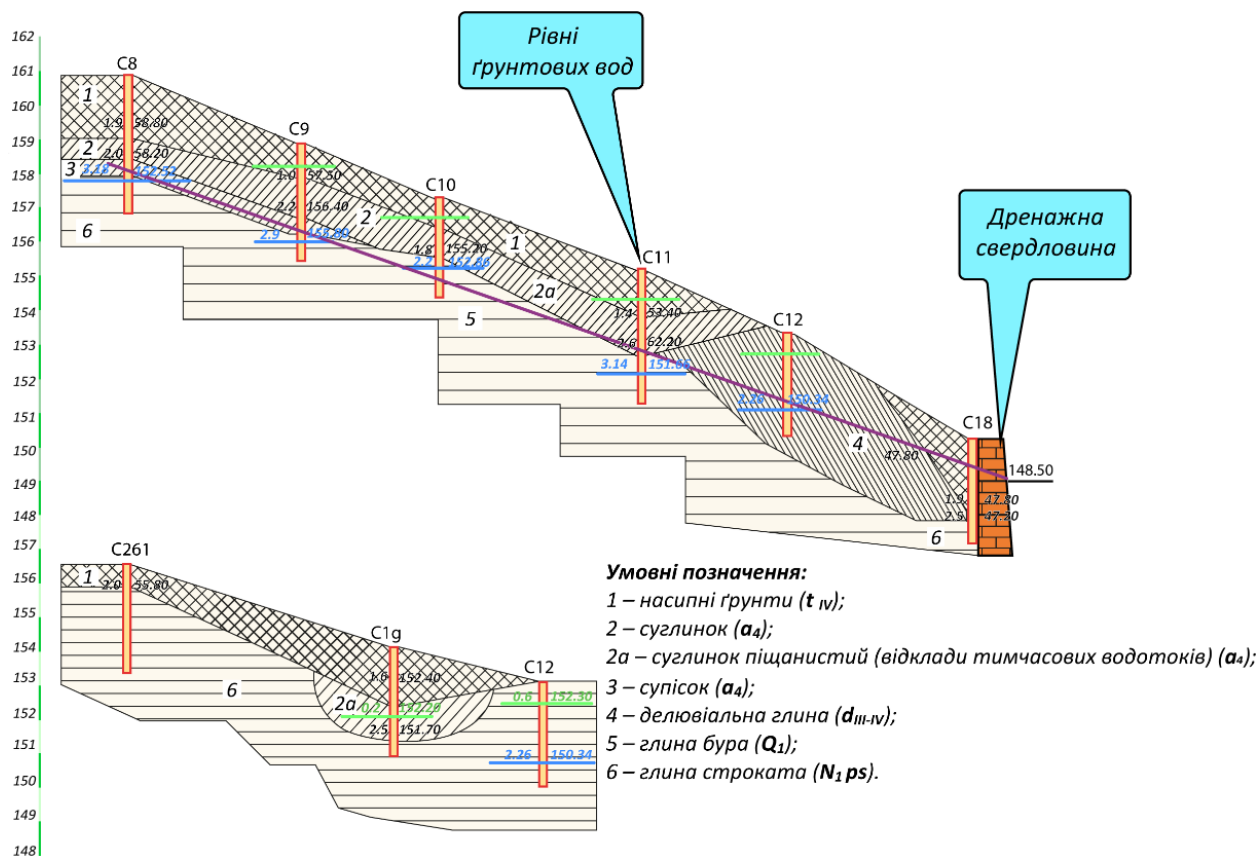


Рис. 3. Інженерно-геологічні розрізи території саду Близьких печер Кисво-Печерської лаври (Черевко та ін., 2015)



Рис. 4. Зони поширення постійного та тимчасового водоносних горизонтів



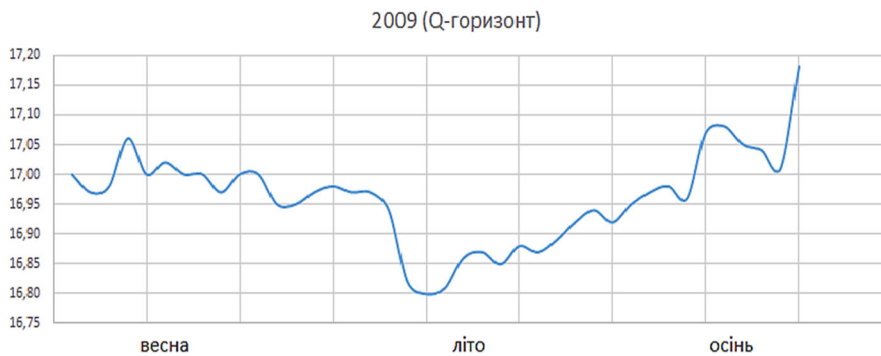


Рис. 6. Графік річної зміни РГВ

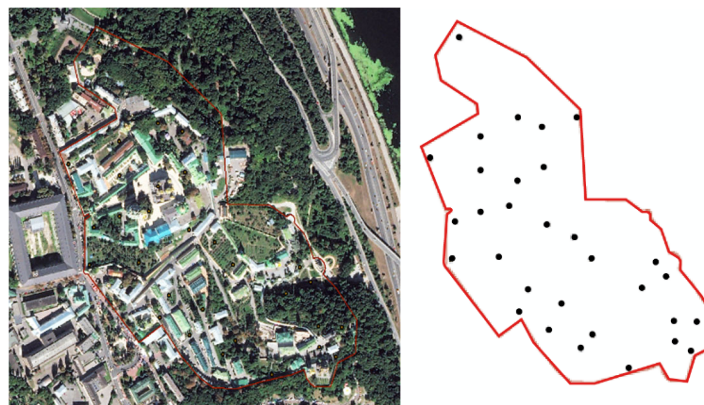


Рис. 7. Векторизовані межі території та свердловини

Оскільки знімок досить високої якості, векторизація проводиться без попередньої підготовки растрових даних. Інтерактивна векторизація пов'язана зі створенням об'єктів у ручному режимі за допомогою прив'язки осередків. Клас свердловин представлено у вигляді точкових об'єктів, клас границь досліджуваної території – як лінійний об'єкт. Кожна структурна одиниця бази даних містить порядковий номер, номер самої свердловини, дату замірів та власне самі РГВ.

Наступним кроком у підготовці території до моделювання поверхонь РГВ є створення карти ізоліній рельєфу. Для цього завантажується відповідний для даного регіону SRTM-знімок, для кожного пікселя якого залежно від яскравості характерне певне значення висоти. Для підвищення якості шару ізоліній, використовується інструмент Smooth Line (Згладжування ліній). Ізолінії проведено через кожні 5 м.

Теоретичні та практичні аспекти побудови поверхонь за РГВ. Наступним етапом обробки вихідних даних є моделювання поверхні. Створити поверхню означає заповнити простір між дискретними точками, що містять дані виміру безперервного явища. Поверхні є об'єктами, які мають певні значення в кожній точці по всій області їх простягання. Значення нескінченної кількості точок по всій поверхні витягуються з обмеженого набору вихідних значень. Вони можуть бути засновані на прямих вимірах, наприклад, значеннях висоти рельєфу або значеннях температур для температурних поверхонь. Значення для поверхні, розташовані між точками вимірювань, присвоюються шляхом інтерполяції (Документація ESRI ArcGIS, н.д.).

Для вибору методу інтерполяції необхідно розуміти, як поверхня може бути зображена засобами ГІС у векторних або растрових системах. У векторних системах зображення поверхні виконується за допомогою моделі нерегулярної триангуляційної мережі (TIN), що є одним із способів подання Z-величини. У растрових системах

поверхня, яка має назву ґрид, відображається у вигляді сукупності пікселів. Кожен піксель може характеризуватися відповідним значенням і, крім того, ще й займати деяку площу, зі збільшенням якої у растровій моделі даних знижується якість зображення поверхні.

Для виконання поставленого завдання – побудови поверхонь РГВ – у ПЗ ArcGIS можна використовувати такі методи, як інструменти інтерполяції зворотньо зважених відстаней, метод Сплайн (Spline), геостатистичні методи, серед яких виділяється Кригінг (Kriging).

Кригінг – це покращений геостатистичний метод, який дозволяє будувати передбачувану поверхню з набору точок із z-значеннями (Документація ESRI ArcGIS, н.д.). На відміну від інших методів інтерполяції в наборі інструментів *Інтерполяція*, інструмент Kriging передбачає інтерактивне дослідження просторової поведінки явища, представленого z значеннями, до вибору вами оптимального методу оцінки для побудови результатуючої поверхні. Кригінг – покроковий процес; він включає пошуковий статистичний аналіз даних, моделювання варіограми, створення поверхні та (додатково) вивчення поверхні дисперсії. Кригінг найкраще використовувати, якщо відома інформація про просторово корельовану відстань або направлене зміщення даних.

Інструмент Сплайн (Spline) використовує метод інтерполяції, який оцінює значення, застовуючи математичні функції, які зводять до мінімуму загальну кривизну поверхні, що приводить до побудови згладженої поверхні, яка проходить точно через вхідні точки.

Концептуально, опорні точки витягуються на висоту їх величини (Mitas, Mitasova, 1988). Сплайн встановлює математичну функцію на задану кількість найближчих вхідних точок при проходженні через опорні точки. Обов'язково повинні виконуватись дві основні умови: поверхня має проходити точно через точки з даними та мати мінімальну кривизну. Також накопичена сума квадратів других

похідних поверхні, взятих для кожної точки поверхні, має бути мінімальною (Документація ESRI ArcGIS, н.д.).

Алгоритм, який застовується для інструменту Сплайн (Spline), використовує таку формулу для інтерполяції поверхні (Franke, 1982):

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j),$$

де $j = 1, 2, \dots; N$ – коефіцієнти, знайдені на основі розв'язання системи лінійних рівнянь; N – кількість точок; r_j – відстань від точки (x, y) до точки j ; $T(x, y)$ і $R(r)$ – визначаються по-різному, залежно від вибраних опцій.

Для обчислювальних цілей весь простір вихідного растру ділиться на блоки, рівні за розміром. Число блоків за напрямками x і y однакове, вони мають форму прямокутника. Число блоків визначається шляхом ділення загальної кількості точок у вхідному наборі точок на число, задане для числа точок (Mitas, Mitasova, 1988). Для менш рівномірно розподілених даних блоки можуть містити різну кількість точок, при цьому кількість точок є тільки грубим середнім. Якщо в одному будь-якому з блоків число точок менше восьми, блок буде розширено до того розміру, за якого в нього потраплять мінімум вісім точок.

Використовуються два типи побудови сплайнів: *Регуляризований* (Regularized) і *З натягом* (Tension). *Регуляризований тип* створює згладжену поверхню, яка поступово змінюється зі значеннями, які можуть виходити за межі діапазону опорних точок. Цей тип змінює критерії мінімізації таким чином, що в ці критерії включається третя похідна. Параметр ваги (Weight) задає вагу, присвоєну третьою похідною під час мінімізації; ця вага в літературі носить назву τ (тау). Високі значення цього параметра призводять до побудови більш згладженої поверхні. Добре підходять значення від 0 до 0,5. Використання цієї опції забезпечує побудову згладженої поверхні, поряд із згладженими поверхнями першої похідної. Ця методика корисна в тих випадках, коли необхідно обчислити другу похідну проінтерпольованої поверхні (Mitas, Mitasova, 1988).

Тип *З натягом* контролює жорсткість поверхні відповідно до характеру модельованого явища. Він створює менш згладжену поверхню.

Виходячи з того, що метод Кригінг вимагає більшу кількість вхідної інформації, яка за даними режимних спостережень не наявна у повному обсязі, для побудови поверхню РГВ більш прийнятним буде вибір інструменту *Регуляризований тип Сплайну*.

Інструмент Сплайн доступний у наборі інструментів 3D Analyst. Також можлива його реалізація у вікні Python, де вхідними даними є точковий шейп-файл, на виході – апроксимована поверхня – растр TIFF. Побудову початкової поверхні методом Сплайну виконано шляхом використання автоматичного скрипту, де як Z-координати виступає висотне просторове положення гирла свердловини. Далі виконується класифікація, яка являє собою процес об'єднання об'єктів у класи. Для вирішення поставлених завдань виконуємо ручну класифікацію, яка дозволяє згрупувати об'єкти за специфічними критеріями або порівняти значення їх атрибутів з конкретною характерною величиною (рис. 8). Діапазони значень визначають, які просторові об'єкти потраплять в клас, що, у свою чергу, впливає на відображення даних.

Необхідність виконання побудови даного об'єкта полягає в перевірці достовірності отриманих результатів та їх відповідності фактичним даним. Для встановлення адекватності створеної поверхні можна використати

інструмент *Перехресна перевірка* на базі Geostatistical Analyst Tools. Вона надає уяву про те, наскільки точно модель інтерполює невідомі значення. Відібрані точки послідовно виключаються із вибірки, потім розраховуються значення в цій точці з використанням решти даних, далі виміряне і обчислене значення порівнюються.

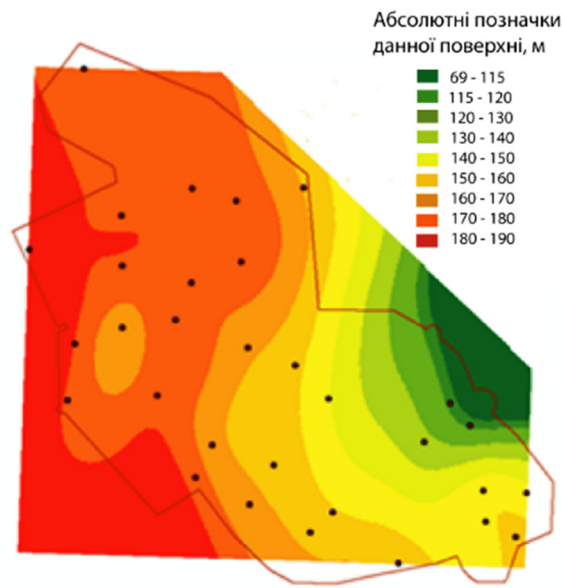


Рис. 8. Рекласифікована денна поверхня

Також можна виконати *ручну перевірку*. Для цього виконується порівняння діапазонів, в які потрапляють свердловини з відомими Z-координатами гирла, із побудованими на основі SRTM-знімка ізолініями рельєфу. Відкривши атрибутивну таблицю та зіставивши розміщення кожної свердловини у конкретному діапазоні із значеннями Z-координати, а також із положенням та значенням ізолінії рельєфу, простежується їх взаємна відповідність (рис. 9). Візуальне порівняння відповідності підписів та кольорової градації діапазонів, в яких розташовані свердловини, свідчить про достовірність побудованої моделі.

Практичне застосування та інтерпретація отриманих результатів для прогнозування ЕГП. Кожен геологічний процес і явище розвивається в певних природних умовах під впливом комплексу кліматичних, фізико-географічних і інженерно-геологічних факторів. Прогнозування важливо тому, що саме наявність, виникнення і розвиток тих чи інших геологічних і інженерно-геологічних процесів і явищ можуть викликати небажані зміни геологічного середовища. У зв'язку із відсутністю достатньої кількості різнобічного статистичного матеріалу про гідродинамічні умови, який необхідний для ґрунтового виконання розрахункових методів, і наявності великого масиву даних про РГВ у різні роки, а також аналітичних даних про геологічну будову, процеси та явища, що відомі на досліджуваній території, прогнозування проводиться з поєднанням різних методів. Для цього проаналізовано декілька явищ, що мають місце на досліджуваній території.

Встановлення можливих зон просідання ґрунту. Визначається поширення наявних на території дослідження водоносних горизонтів. Для цього виконано описані вище операції із побудови поверхонь методом Сплайн і отримано такі результати (рис. 10).

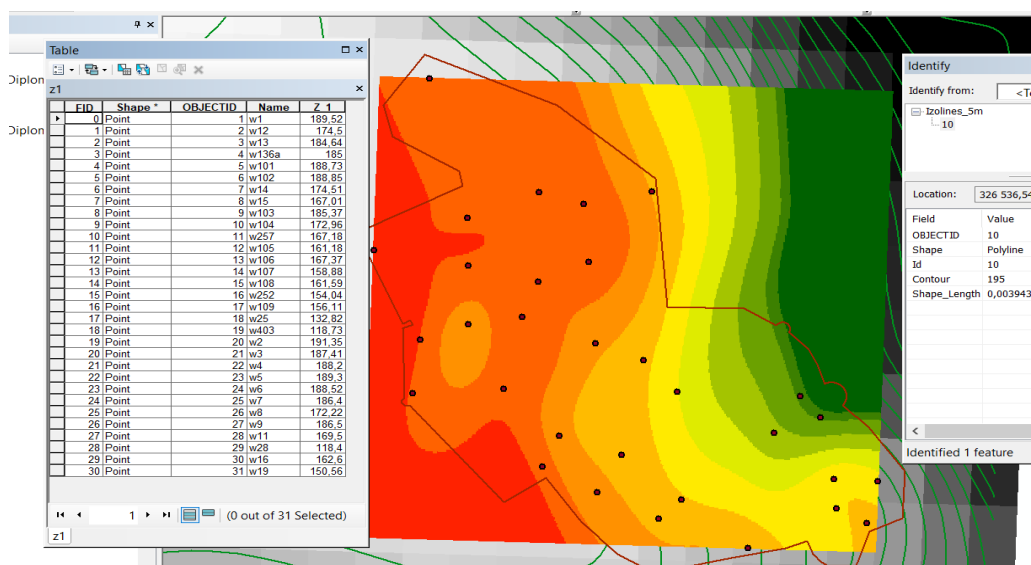


Рис. 9. Зіставлення фактичних даних із отриманими результатами положення гирла свердловин

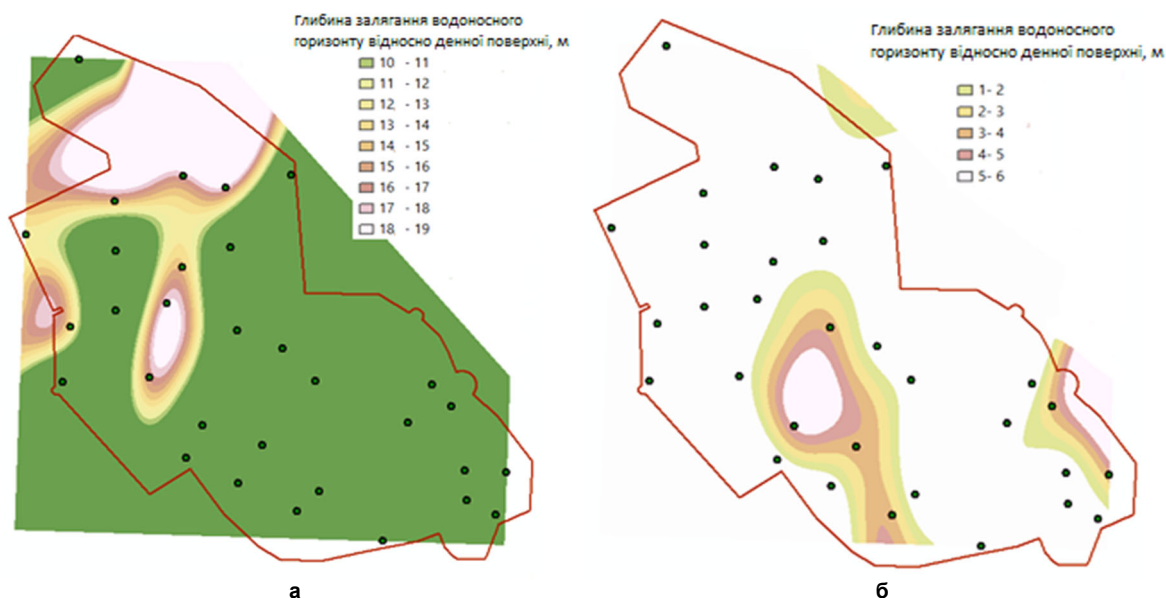


Рис. 10. Поширення четвертинного та палеогенового водоносних горизонтів станом на 2016 рік

Підземні води поширені у вигляді двох гідравлічно не пов'язаних водоносних горизонтів у четвертинних і палеогенових відкладах. Нижній водоносний горизонт розповсюджений по всій території Лаври. Верхній – четвертинний водоносний горизонт на території Верхньої Лаври поширений по всій площі, Нижньої Лаври – спорадично. Щоб яскравіше це продемонструвати, приховано верхній діапазон його поширення по всій території (рис. 10б). Виконавши зіставлення зон поширення кожного із горизонтів із літологічною будовою території, можна дійти висновку, що четвертинний горизонт має спорадичне поширення у зв'язку із тим, що розташований у зоні виклинювання бурих глин.

Для дослідження явища просідання ґрунту виконуються побудови поверхонь за РГВ на основі середньоарифметичних значень у двох вибірках – за 1995 і 2010 рр., і подальшим аналізом поширених у межах досліджуваної території водоносних горизонтів. Оскільки обидва горизонти мають прямий вплив на розвиток процесів просідання, об'єднуємо їх в одну поверхню, проводимо рекласифікацію діапазонів і отримуємо такі результати (рис. 11).

Як видно, у зазначений період часу діапазони поширення водоносних горизонтів зазнали змін. Фактичні дані також вказують на це. Наприклад, у свердловині № 14 (w14) середньорічний РГВ станом на 1995 р. перебував на позначці 3,11 м, у 2010 р. – 4,11 м. Подібна ситуація зустрічається в кожній із свердловин. Таке опускання поверхні водоносних горизонтів може бути зумовлене рядом факторів, що мали місце у даному районі: витокami з водонесучих комунікацій, значним притоком з боку прилеглої міської забудови, спорудженням будівель на заглиблених пальових основах, ліквідацією існуючих дренажних галерей тощо (Cherevko, 2019).

Далі для встановлення площ, на яких можливий розвиток явищ просідання ґрунту, виконано побудову розрізу. Ідея полягає в тому, що використовуються можливості системи лінійних координат для отримання інформації про глибину залягання поверхонь уздовж лінії розрізу з найближчих до неї свердловин. За віссю Х розміщується відстань уздовж розрізу, за віссю Y – глибина залягання водоносних горизонтів. Як вихідні дані використовується точковий шар свердловин. Кожна

точка в ньому містить інформацію про глибину залягання побудованих раніше поверхонь водоносних горизонтів, гіпсометричний рівень денної поверхні.

Щоб створити маршрут за лінією розрізу (рис. 12) запускається інструмент *Create Routes* (Створити маршрути), використовуючи коефіцієнт стиснення відстані (*Measure Factor* = 0.5), для масштабування розрізу по горизонталі. Результатом роботи інструменту буде таблиця, яка містить інформацію з класу об'єктів зі свердловинами і нове поле, в якому записані відстані уздовж маршруту. Додається розташування залягання поверхонь уздовж лінії розрізу за допомогою інструменту

Make XY Event Layer (Створити шар подій XY) з отриманої раніше таблиці. Для прив'язки свердловин, що містять інформацію про глибину залягання пластів, до відстані уздовж маршруту (лінії розрізу) використовується інструмент *Locate Features Along Routes* (Розміщення об'єктів уздовж маршруту). Далі, використовуючи наявну інформацію про геологічну та літологічну будову, за допомогою стандартних інструментів редагування ArcGIS Desktop, виконується оцифровка розрізу. Більшу частину процесу побудови розрізу можна автоматизувати, скориставшись візуальним середовищем моделювання робочих процесів *ModelBuilder*.

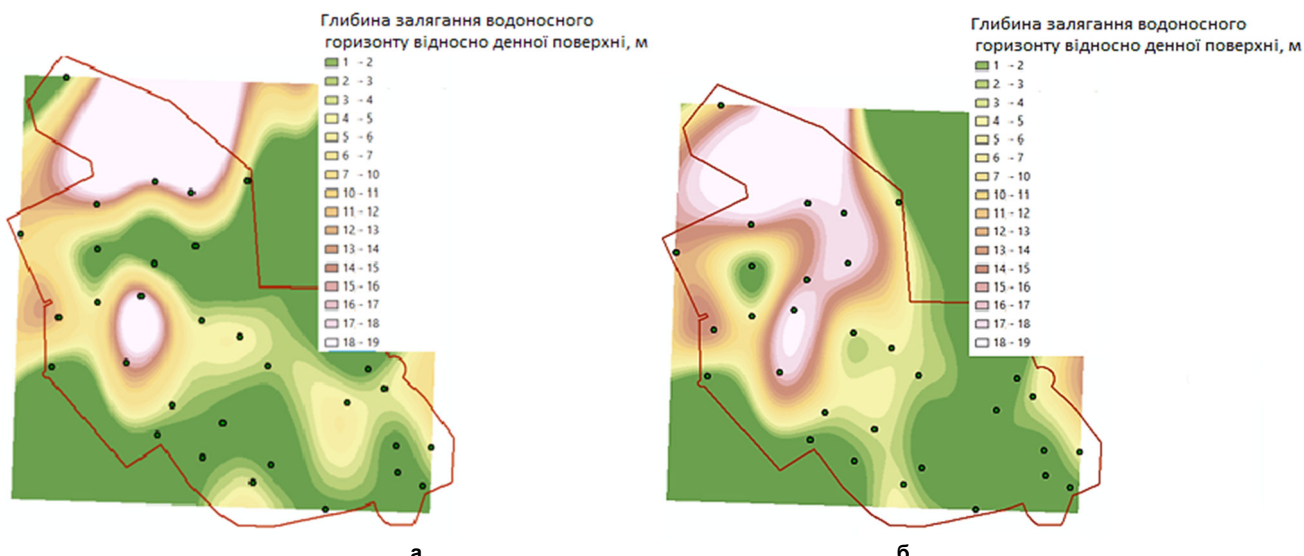


Рис. 11. Площі поширення водоносних горизонтів у 1995 р. (а) та 2010 р. (б)

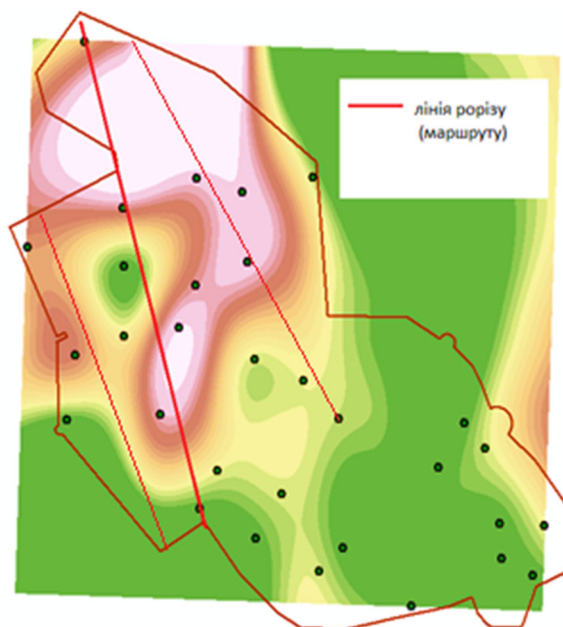


Рис. 12. Лінії розрізів на досліджуваній території

Виконавши ряд таких побудов, складається загальний схематичний геологічний розріз (рис. 13), на якому аналітично можна виділити потенційні зони просідання. Отже, вивчивши різнобічні матеріали вишукувань, які проводились на даній території (*Левашов та ін., 2008; Черевко та ін., 2011*), а також провівши кореляцію

діапазонів залягання поверхонь із даними про геологічну будову та літологічний склад, можна встановити найбільш імовірні площі поширення просідання ґрунту, які представлені на узагальнювальній схемі (рис. 14).

Поширення та розвиток процесів підтоплення. Підтоплення розглядається як процес, що призводить до

комплексної зміни природних умов у результаті підйому рівня ґрунтових вод та зволоження ґрунтів зони аерації. Під час підтоплення змінюються не тільки рівні, але й гідрохімічний режим ґрунтових вод, вологісний і сольовий

режими ґрунтів зони аерації, просадні властивості ґрунтів, ґрунтові процеси, властивості ґрунтів і пов'язана із цим трав'яниста й деревна рослинність, мікроклімат (Районування ризиків..., 2017).

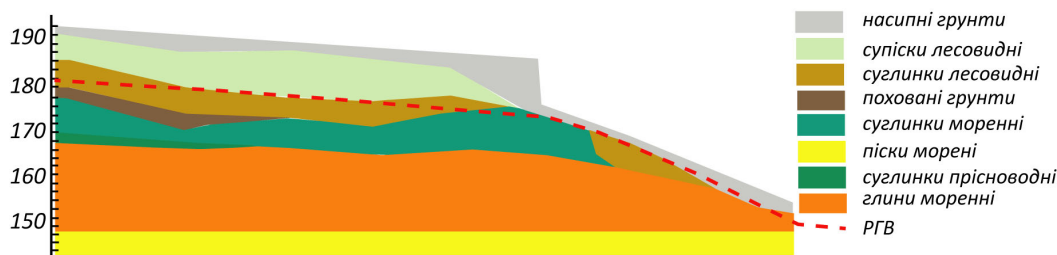


Рис. 13. Узагальнений схематичний геологічний розріз досліджуваної ділянки



Рис. 14. Узагальнювальний план-схема розвитку екзогенних геологічних процесів на території Києво-Печерської лаври (за результатами виконаних побудов та іншими фактичними даними)

Найбільш схильною до підтоплення ділянкою на досліджуваній території є сад над Близькими печерами. У Близькопечерному саді влаштована густа сітка спостережених режимних свердловин, за даними яких можна виконувати побудову поверхонь верхнього водоносного горизонту і відслідковувати його просторово-часові зміни. Для прикладу виконано побудову поверхні за даними станом на 25.02.2019 р. (рис. 15).

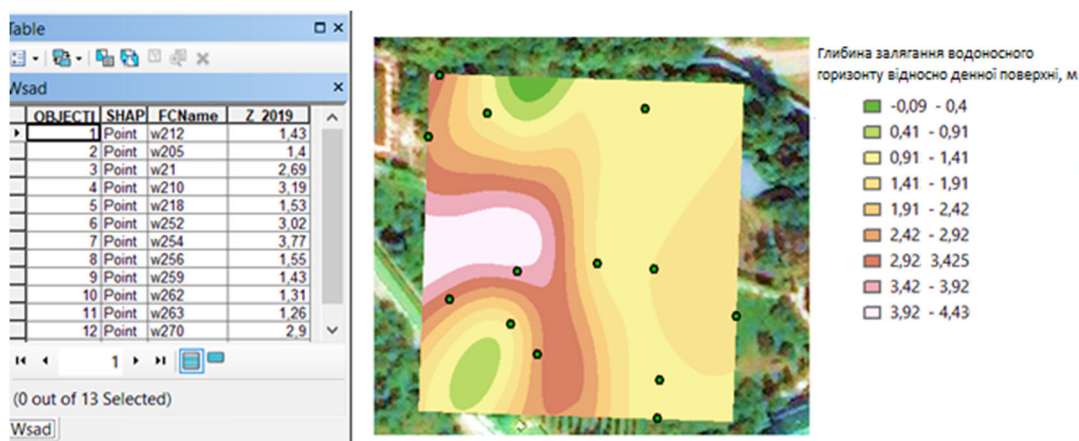


Рис. 15. Поверхня тимчасового водоносного горизонту у саду Близьких печер, який призводить до розвитку процесів підтоплення (станом на 25.02.2019 р.)

Дослідження процесів підтоплення мають важливе значення, оскільки від нього потерпають печерні комплекси. Для аналізу сучасного стану процесів підтоплення застосовано математико-картографічний метод досліджень на основі ГІС. За допомогою *Map calculator* (ArcView GIS) були зіставлені поверхні поширення і залягання ґрунтових

вод, побудовані на різні моменти часу. Виконавши ряд побудов для вибірок і порівнявши отримані результати з геологічними та літологічними даними, отримано такі висновки. У саду Близьких печер постійний водоносний горизонт поширений лише у верхній частині. На решті території водоносний горизонт має характер верховодки,

тобто тимчасового, і виникає на поверхні водотривкого шару (товщі бурих та строкатих глин) після сніготанення та довготривалих або рясних опадів. Ґрунтові води поширюються вниз по схилу в улоговинах еродованої поверхні бурих та строкатих глин, заповнених проникними ґрунтами. У роки високої водності (2008, 2010, 2013) водоносний горизонт формується на поверхні водотривкої товщі бурих та строкатих глин суцільним шаром. Потужність водоносного горизонту незначна, змінюється від 2,0 м у нижній частині саду над печерами до 6,0 м у верхній частині саду. Амплітуда коливань становить 1,2–3,4 м. На достовірність отриманих результатів вказують проведені раніше геофізичні дослідження території Близньопечерного саду (Левашов та ін., 2008), за якими визначені головні напрямки руху водних потоків.

Вивчення різнобічних матеріалів вишукувань попередніх років (Скальський та ін., 2007; Черевко та ін., 2015 та ін.) дозволяють зробити висновки, що формування горизонту ґрунтових вод на ділянці саду Близьких печер відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, яка призводить до перезволоження ґрунтового масиву, підйому рівнів ґрунтових вод та подальшого поширення водоносного горизонту в бік печерних лабіринтів латеральними шляхами. Водомісткими породами є техногенні відклади; супіски та суглинки тимчасових водотоків, які заповнюють улоговини; делювіальні глини.

Висновки. Виконавши побудови поверхонь на основі режимних даних про РГВ, на досліджуваній території Києво-Печерської лаври можна виділити потенційні зони поширення небезпечних ЕГП, зокрема таких, як просідання і підтоплення ґрунту. Використовуючи отримані результати побудов і беручи до уваги дані про фіксовані раніше явища такого характеру, а також дані за проведеними раніше моніторинговими роботами, узагальнювальну схему (рис. 14) доповнено відповідною інформацією.

Звичайно, на сьогодні існує чимала кількість методик, які використовуються для вивчення ЕГП. Основна частина з них спрямована на вирішення більш локальних задач, зокрема таких, як моніторинг стану споруд та історичних об'єктів. Територія Києво-Печерської лаври розташовується на схилах долини Дніпра і Лаврського яру зі складними геологічними, гідрогеологічними і інженерно-геологічними умовами і характеризується наявністю інтенсивного техногенного навантаження на геологічне середовище, що звичайно ускладнює процес проведення моніторингу. Тому створення єдиної геобаз даних для досліджуваної території може оптимізувати процес моніторингу і прогнозування розвитку небезпечних геологічних процесів, а також дасть змогу ефективно реагувати на розвиток таких явищ і нівелювати їх поширення. Можна виділити цілий ряд завдань, які можуть ефективніше вирішуватись за допомогою такої бази даних, якщо говорити про її ведення в ПЗ ArcMap:

- створення та підтримка геоінформаційної бази даних може слугувати фактографічною основою для виконання різноманітних математичних моделей;
- використання при наповненні та підтримці бази всієї наявної інформації (наприклад, для певної ділянки території за допомогою логічних запитів із геобаз вибираються точки спостережень, які просторово знаходяться в межах ділянки та містять інформацію про рівень ґрунтових вод на визначений користувачем час);
- збереження результатів виконання різноманітних побудов та моделювання у вигляді шарів для подальшого вдосконалення існуючих і створення нових моделей території;

- виконання просторового аналізу і моделювання із інтеграцією в інші ГІС та із використанням інших ПЗ.

Як видно із широкого та різноманітного пакету інструментів, наявних і використовуваних у даній роботі в ПЗ ArcGIS, створення та ведення такої геобаз даних у поєднанні з іншими ПЗ може бути цілком прийнятним та ефективним.

Список використаних джерел

- Документація ESRI ArcGIS. (н.д.). Отримано із <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/surface-creation-and-analysis.htm>.
- Зацерковний, В.І., Тішаєв, І.В., Віршило, І.В., Демидов, В.К. (2017). Геоінформаційні системи в науках про Землю. *НДУ ім. М. Гоголя*, 145–148.
- Костюченко, М., Мокієнко, А. (2014). Оцінка небезпеки розвитку зсувів на території ботанічного саду імені академіка О.В. Фоміна. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 44, 43–48.
- Кошляков, О.Є. (2011). Моніторинг гідрогеодинамічної складової геологічного середовища урбанізованих територій (на основі ГІС). *Автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.05*. Київ.
- Левашов, С.П., Піщаний, Ю.М., Корчагін, І.М. (2005). Геофізичні вишукування ділянки саду Свято-Успенської Києво-Печерської лаври з метою визначення зон підвищеної вологості ґрунтів, шляхів міграції підземних водних потоків, встановлення причин замокання ґрунту. *Звіт про НДР. ТОВ НВП "Геопром"*.
- Левашов, С.П., Піщаний, Ю.М., Корчагін, І.М. (2008). Геофізичне обстеження (вишукування) території Свято-Успенської Києво-Печерської лаври в районі саду над Близькими печерами, підпірної стіни Верхньої Лаври, ділянки Трапезної церкви з метою визначення та картування зон підвищеної вологості та шляхів міграції підземних водних потоків. *Звіт про НДР. ТОВ "Геолог-Буд"*.
- Районування ризиків підтоплення територій великих міст та агломерацій. (2017). Посібник до ДБН "Інженерний захист від підтоплення ґрунтовими водами територій та споруд". Отримано із www.uwodgeo.org.ua.
- Скальський, О.С., Бугай, Д.О., Діпо, С.П. та ін. (2007). Створення автоматизованої системи гідрогеологічного моніторингу комплексу Близьких печер Києво-Печерської Лаври. *Звіт про НДР. ПП "Гео-Еко-Консалтинг"*.
- Черевко, І.А., Куциба, В.О. (2011). Дослідження мікроклімату та інженерно-геологічних умов Близьких печер з метою визначення оптимальних умов експлуатації та збереження. *Діапазон печер лаврських*, 112–116.
- Черевко, І.А., Куциба, В.О., Моргун, І.П. (2015). Гідрогеологічні умови території Близньопечерного пагорбу, їх вплив на стан печер та засоби регуляції. *Болховітинівський щорічник*, 49–60.
- Cherevko, I.A. (2019). Hydrogeological conditions of the territory of Kyiv-Pechersk lavra and their influence on the technical state of monuments. *Sivshchyna in the history of Ukraine*, 12, 15–19.
- Frankel, R. (1982). Discrete data smooth interpolation by local splines. *Computer and Mathematics with Applications*, 8, 273–281.
- Kumar, C. (2019). An Overview of Commonly Used Groundwater Modelling Software. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 144–145.
- Kumar, C., Surjeet, S. (2015). Concepts and Modeling of Groundwater System. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 262–266.
- Mitas, L., Mitasova, H. (1988). Variational approach to the interpolation problem. *Computer and Mathematics with Applications*, 16, 983–992.
- Tauxe, J. (1994). Porous Medium Advection-Dispersion Modeling in a Geographic Information System. *Center for Research in Water Resources*, 1, 23–27.
- Tetzlaff, D.M., Tveiten, J., Salomonsen, P. et al. (2014). Geologic Process Modeling. *IX Conference of Hydrocarbon Exploration and Development*. Отримано із https://www.researchgate.net/publication/320183844_GEOLOGIC_PROCESS_MODELING.

References

- Cherevko, I.A., Kutsyba, V.O. (2011). Near Caves microclimate and engineering-geological conditions study for determination of optimal exploitation and storage conditions. *Dyva pecher lavrskykh*, 112–116.
- Cherevko, I.A., Kutsyba, V.O., Morhun, I.P. (2015). Hydrogeological conditions of Near Cave Hill territory, their influence on the cave state and means of regulation. *Bolkhovitinovskiy Shchorichnyk*, 49–60.
- Cherevko I. A. (2019). Hydrogeological conditions of the territory of Kyiv-Pechersk lavra and their influence on the technical state of monuments. *Sivshchyna in the history of Ukraine*, 12, 15–19.
- ESRI ArcGIS documentation. (n.d.). Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/surface-creation-and-analysis.htm>.
- Frankel, R. (1982). Discrete data smooth interpolation by local splines. *Computer and Mathematics with Applications*, 8, 273–281.
- Koshliakov, O.Y. (2011). Monitoring of the hydrogeodynamic component of the geological environment in urban areas (based on GIS). *Extended abstract of Doctor's thesis: 04.00.05*.
- Kostiuchenko, M., Mokienko, A. (2014). Landslide danger assessment in the A.V. Fomin Botanical Garden. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 44, 43–48.

Kumar, C. (2019). An Overview of Commonly Used Groundwater Modelling Software. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 144-145.

Kumar, C., Surjeet, S. (2015). Concepts and Modeling of Groundwater System. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 262-266.

Levashov, S.P., Pishchanyi, Y.M., Korchahin, I.M. (2008). Geophysical survey (search) of the Holy Dormition Kyiv-Pechersk Lavra's territory near the garden above the Near Caves, the retaining wall of the Upper Lavra, the Refectory Church area conducted to identify and map high humidity zones and groundwater flow migration routes. *Research Activity Report*. Heoloh-Bud LLC.

Levashov, S.P., Pishchanyi, Y.M., Korchahin, I.M. (2005). Geophysical searches of the Holy Dormition Kyiv-Pechersk Lavra's garden area conducted to determine high soil moisture zones, groundwater flow migration routes and to define soil moisture reasons. *Research Activity Report*. Academic and Research Enterprise Heoprom LLC.

Mitas, L., Mitasova, H. (1988). Variational approach to the interpolation problem. *Computer and Mathematics with Applications*, 16, 983-992.

Skalskyi, O.S., Buhai, D.O., Depo, S.P. and others. (2007). Establishment of automated system of hydrogeological monitoring of Near Caves complex in Kyiv-Pechersk Lavra. *Research Activity Report*. Heo-Eko-Konsaltnh Private Enterprise.

Tauxe, J. (1994). Porous Medium Advection-Dispersion Modeling in a Geographic Information System. *Center for Research in Water Resources*, 1, 23-27.

Tetzlaff, D.M., Tveiten, J., Salomonsen, P. et al. (2014). Geologic Process Modeling. *IX Conference of Hydrocarbon Exploration and Development*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/320183844_GEOLOGIC_PROCESS_MODELING.

Zatserkovnyi, V.I., Tishaiev, I.V., Virshylo, I.V., Demydov, V.K. (2017). Geographic information systems in the Earth sciences. *Nizhyn Mykola Gogol State University*, 145-148.

Zoning the risks of flooding in big cities and agglomerations. (2017). Engineering protection against territory and building groundwater flooding: building code handbook. Retrieved from www.uwodgeo.org.ua.

Надійшла до редколегії 12.06.22

I. Cherevko, PhD (Geol.),
E-mail: ira071165@yahoo.com,
Kiev-Pechersk Lavra National Reserve,
9 Lavrska Str., Kyiv, 01015, Ukraine;
V. Zatserkovnyi, Dr. Sci. (Tech.),
E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com;
P. Trofymenko, Dr. Sci. (Agri.), Assoc. Prof.,
E-mail: trofimenkopetr@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
I. Pampukha, PhD (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: pamp@ukr.net;
B. Popkov, PhD (Mil.), Senior Researcher,
E-mail: popkov.b.a@gmail.com;
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Military Institute, 81 Lomonosova Str., Kyiv, 03189, Ukraine;
V. Hudak, Student,
E-mail: VassiaGudak@gmail.com,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEODATABASE APPLICATION FOR REGIME OBSERVATIONS OF KYIV-PECHERSK LAVRA TERRITORY HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND ITS ANALYSIS

Groundwater is the most dynamic and vulnerable component of the geological environment, which in real-time responds to changes in natural and natural-anthropogenic factors and defines the emergence and intensification of the dangerous geological processes, particularly such as landslides, ground subsidence, flooding, etc. To assess the impact of various factors on the exogenous geological processes (EGPs) development and intensification, primarily the most fast-changing ones, in addition to meteorological conditions (precipitation amount and its seasonal distribution) hydrogeological conditions, and the most volatile indicator - groundwater level – are taken into account.

Continuous territory monitoring requires numerous complex and diverse problem solutions, including reasonable and comprehensive forecasting of changes under the influence of physical, chemical, and biological factors based on modern information technologies.

Given that National Kyiv-Pechersk Preserve territory has a complex relief with a height difference of 74.5 m from south to northeast in real terms, it is necessary to conduct constant monitoring and landslide prevention activities, carry out surface water drainage measures, replace water supply and disposal communications, and determine the impact of changes in groundwater regime on the territory to achieve the ultimate objective. This multifaceted process can be optimized by a geodatabase, the use, and maintenance of which will enable to focus on the study of the hydrogeological conditions, in particular the groundwater regime and the nature of aquifers changes.

Keywords: groundwater levels, exogenous geological processes, aquifer distribution, hydrological conditions, geoinformation system.

УДК (550.847:528.8):553.981.23/.982.23(477)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.13>

О. Азімов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб., пров. наук. співроб.,
E-mail: azimov@casre.kiev.ua,

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна;

І. Багрій, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: info@igs-nas.org.ua;

В. Дубосарський, канд. геол. наук, пров. наук. співроб.,

E-mail: dvr2569@ukr.net;

Інститут геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ АТМОГЕОХІМІЧНИХ І ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром тех. наук, проф. В.І. Зацерковним)

Застосовуючи технологію структурно-термо-атмогеохімічних досліджень у межах П'ятигорівської площі Дніпровсько-Донецької западини, виконано комплекс робіт. Серед них: геоструктурний аналіз, морфоструктурний аналіз та структурне дешифрування даних космічного знімання, польові роботи з проведенням еманційної та термометричної зйомок, лабораторний хроматографічний аналіз відібраних з підґрунтового шару проб газів, комплексна інтерпретація даних атмогеохімічних і дистанційних методів досліджень, прогнозування нафтогазоносності площі.

Встановлено, що площа розташована у складних структурно-тектонічних умовах. В її межах фіксуються відносно "автономні" північна і південна зони аномальних газових виділень, визначено п'ять локальних ділянок складної конфігурації у плані, перспективних для подальших пошуків покладів вуглеводнів.

Ключові слова: дистанційні, термометричні, еманційні, атмогеохімічні дослідження; поклади вуглеводнів; Дніпровсько-Донецька западина.

Постановка проблеми й завдання дослідження.

Прогнозування покладів вуглеводнів (ВВ) у земних надрах є складною проблемою, вирішення якої передбачає вирішення насамперед ряду відповідних завдань. Так необхідно визначити не тільки просторове розташування покладу і глибину його залягання, а також насиченість певним типом флюїду, збереженість тощо. Наприклад, флюїдопроникні й геодинамічно активні зони, як канали енергомасоперенесення та шляхи газовиділення (зокрема, радіоеманцій), активно впливають на умови формування та зберігання покладів ВВ, впливають на шляхи міграції до земної поверхні різних за складом й походженням флюїдів, у тому числі й тих, що є прямими індикаторами газових покладів. На розподіл газів у приповерхневому шарі впливає значна кількість геологічних, структурно-тектонічних, літологічних та інших чинників.

Одержання зазначеної інформації може бути досягнуто при впровадженні в пошуковий процес окрім традиційних геолого-геофізичних робіт також і відносно нетрадиційних методів досліджень, які є експресними і малозатратними, та їхніх комплексів. До таких, зокрема, належить комплекс структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД), в основу якого покладені нові науково-методичні та прикладні розробки з удосконалення та впровадження у практику приповерхневих експресних методів прогнозування зон розривних порушень підвищеної геофлюїдопроникності (тріщинуватості, розущільнення) з метою вирішення низки геологопошукових та геоекологічних завдань (Багрій та ін., 2016).

Базуючись на технології СТАГД, завданням нашого дослідження було уточнення структурної моделі та прогнозування флюїдопроникності перспективних ділянок у межах П'ятигорівської площі Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на основі виявлення сучасних геодинамічно активних диз'юнктивних зон підвищеної проникності, що визначають шляхи міграції до земної поверхні різних за складом флюїдів (зокрема, вуглеводневих індикаторів).

Аналіз попередніх досліджень та виділення невирішених раніше проблем. Стосовно тектонічного районування (Арсирій та др., 1984; Стовба та др., 1993;

Дворянин, 1996) – П'ятигорівська площа приурочена до південної крайової зони ДДЗ. Північна її частина розташована в межах південної прибортової частини западини, а південна – у межах її південного борту. Таким чином, закартовану на площі сейсморозвідкою методом спільної глибинної точки (МСГТ) по горизонтах відбиття V_{l2} (D_3^4) і V_{b3} (C_{1v1}) незначну за розмірами П'ятигорівську брахіантиклінальну складку з північного заходу на південний схід перетинає південне крайове порушення (Стадницько та ін., 1992). На профілі МСГТ 12₂₄₅ 88 воно чітко фіксується між пікетами 50.00 та 55.00 (рис. 1).

Авторами вказаного звіту на перетині профілів 41₂₄₅ 88 і 12₂₄₅ 88 в апікальній частині підняття, що за горизонтом V_{b3} окреслена ізогіпсою -2925 м, рекомендовано до буріння свердловину з метою подальшої оцінки перспектив нафтогазоносності площі (вона розташована, згідно з (Іванюта та ін., 1998), у межах Талалаївсько-Рибальського нафтогазоносного району). Однак пробурено її не було.

Виконані раніше аерокосмогеологічні дослідження (Тарангул та др., 1986) деталізаційної картини щодо розривної тектоніки на площі не дали, оскільки охоплювали значно більшу за розмірами ділянку. Атмогеохімічної зйомки в районі до 2017 р. не проводилося. Отже, оцінювання вуглеводневого потенціалу власне П'ятигорівської площі на детальному масштабному рівні прямими або непрямыми методами в попередні роки не виконувалося. Тож перед надрокористувачем площі постала ця невирішена раніше проблема, до вирішення якої залучно комплекс СТАГД.

Матеріали, методи й технологія дослідження.

Авторами виконано комплексне дослідження за технологією СТАГД (Багрій та ін., 2021; Азімов та ін., 2021), що включав такі методи і роботи: геоструктурний аналіз наявного матеріалу геолого-геофізичних робіт; морфоструктурний аналіз та структурне дешифрування даних космічного знімання (базовий мультиспектральний знімок ASTER з космічного апарата Terra від 17.04.2004 р., SRTM-зображення з супутника Shuttle) та топографічних карт; польові роботи (еманційна – радон і торон – Rn,

Тп; атмогеохімічна – водень, гелій, вуглекислий газ – H_2 , He , CO_2 , вільні вуглеводні; та термометрична зйомки); лабораторний хроматографічний аналіз проб газів, що відібрані з підґрунтового шару; обробка й інтерпретація результатів експедиційних досліджень; комплексна інтерпретація отриманих даних атмогеохімічних і

дистанційних методів досліджень; прогнозування нафтогазоносності ділянки робіт, що може бути пов'язаною із структурними та неструктурними пастками, на основі виявлення сучасних геодинамічно активних зон розривних порушень підвищеної флюїдопроникності.

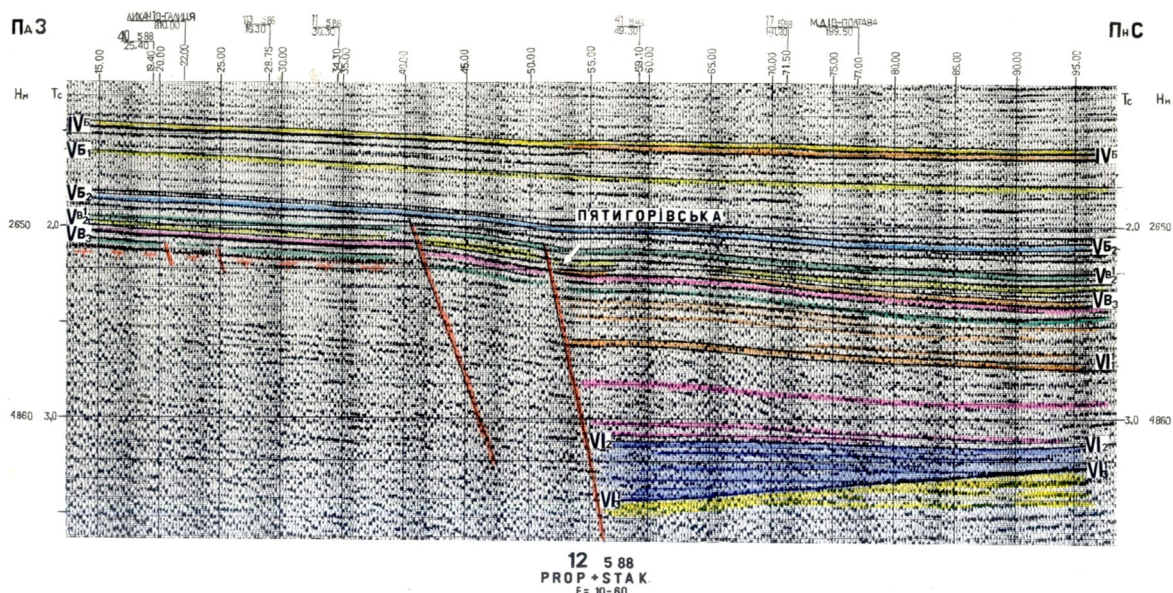


Рис. 1. П'ятигорівська площа ДДЗ. Фрагмент сейсмостратиграфічного розрізу вздовж профілю МСГТ 12₂₄5 88 (Стадніченко та ін., 1992)

Характеризуючи фактичний матеріал проведеного дослідження, відзначимо, що, зокрема, з метою структурного дешифрування космічних знімків, що охоплюють територію П'ятигорівської площі, а також зважаючи на її геометричні параметри, було отримано мультиспектральний знімок ASTER з космічного апарата Terra від 17.04.2004 р. Знімок налічує 15 зональних зображень, 4 з яких з просторовим розрізненням 15 м/піксель виконані у видимому (зелений, червоний канали) та ближньому інфрачервоному (БІЧ-) діапазонах спектра електромагнітних хвиль.

Матеріали мультиспектрального знімка ASTER дають змогу розрізняти типи угруповань рослинного покриву, а у разі його відсутності, що зазвичай характерно для весняного або пізнього осіннього періодів року, – диференціювати ґрунти за їхніми спектральними відбивними характеристиками (рис. 2). Відомо (Азімов, 2007а, б, 2008; Аэрокосмические..., 1988; Розанов, 1982 та ін.), що на характер просторового розподілу і специфіку розвитку ґрунтів і різних типів природної рослинності значною мірою впливають внутрішня структура земної кори і різноманітні геодинамічні процеси. Важливе значення має використання ґрунтово-геоботанічних індикаторів у тих районах, де тектонічні рухи ще мало відобразилися в рельєфі та в районах з малою його контрастністю, до одного з яких належна і досліджувана П'ятигорівська площа. Отож, виходячи з цих міркувань, нами як базовий застосований мультиспектральний космічний знімок ASTER, отриманий навесні 2004 р. Він відображає умови відсутності або незначного вегетаційного розвитку рослинності, яка не завуальовує особливості ґрунтового покриву (рис. 2).

Задля відображення особливостей рельєфу поверхні Землі у цифровому форматі, простеження гідрографічної та ерозійної мереж у межах П'ятигорівської та прилеглих до неї площ було залучено принципово відмінні від

багатозональних за фізичними методами одержання *радарні матеріали* SRTM-зображень, що отримані зі супутника Shuttle за допомогою активних систем знімання у С-діапазоні радіохвиль (5,7–6,1 см). Характерною особливістю SRTM-зображень є їхня "скульптурність", яка зумовлена специфікою відбиття радіохвиль землею поверхнею, оскільки вплив рослинності на це відбиття ослаблений.

Отриманий фактичний матеріал за *наземними* методами СТАГД містив два блоки даних. Так, у 2017 р. протягом 26 листопада було відпрацьовано 24 пункти спостережень (ПС) на площі приблизно 10 км² з прив'язкою цих пунктів до координатної мережі за глобальною системою позиціонування (Global Positioning System – GPS). У 2020 р. за період 24–29 листопада виконано відбір 145 (+3 додаткових) проби на площі, що приблизно становила 10 км². У 2021 р. у межах південної частини площі досліджень 21 та 22 січня зроблено повторне обстеження на 21 ПС.

Місцезоположення відпрацьованих ПС прив'язувалося й виносилося також на отриманий з інтернет-джерела (<https://www.google.com/maps>) оглядовий космічний знімок та наявні топографічні карти.

Результат проведеного дослідження та його обговорення. З метою виявлення на даних космічного знімання структурно-тектонічних елементів (різнопорядкових розломів, розривів і блоків земної кори, локальних піднятих, прогинів і речовинних неоднорідностей осадоночної товщі тощо) за структурно-індицирувальними показниками їхніх дистанційних образів виконується **структурне дешифрування**. Воно передбачає обов'язковість комплексу понять, знань і даних про предмет (ландшафт) та об'єкти (структури) досліджень, специфічні особливості їхнього обрису, генезису, взаємозв'язків і розвитку, а також сучасних уявлень про механізми і характер прояву в ландшафті глибокозатурених утворень

земних надр, об'єктивний аналіз їх пошукових показників і виявлення на цій основі конкретних структурних форм (Азімов, 2007б).

Структурний метод дешифрування є універсальним при вирішенні завдань структурно-тектонічного характеру в межах геологічно похованих територій, до яких належить і П'ятигорівська площа ДДЗ. Здебільшого при його використанні на даних дистанційного зондування Землі виділяються лінійні та кільцеві утворення, що належать до об'єктів двох просторових класів відповідно. Отже, цей метод спирається на образно-аналогову основу, контурну фіксацію структурних форм земної кори і контрасти дистанційного зображення, які зумовлені природними чинниками (Азімов, 2007б; Аэрокосмические..., 1988).



Рис. 2. П'ятигорівська площа та прилеглі ділянки ДДЗ. Результати структурного дешифрування багатозональних космічних знімків: зони лінеаментів (жовтий колір), дуготипи (темно-коричневий колір).

Як підкладку використано фрагмент синтезованого багатозонального космічного знімка ASTER із супутника Terra (17.04.2004 р.) (синтез каналів – 321: 3-й, БІЧ- [0,78–0,86 мкм], 2-й, червоний [0,63–0,69 мкм], і 1-й, зелений [0,52–0,60 мкм], канали; псевдокольори)

Результатами математико-статистичної обробки польових **термометричних досліджень** виявлено, що у 2017 р. підвищені значення показника спостерігалися вздовж північно-західної і східної частин площі досліджень, у центральній її частині на двох ПС фіксувалася зона знижених значень температури. У 2020 р. загалом фіксувалося три ділянки температурного підвищення показника (рис. 4): ділянка 1 – складної форми, розташована в північній частині площі досліджень (в її межах виділяється лінійно витягнута зона субмеридіонального напрямку), ділянка 2 – площевої форми, слабкоінтенсивна, розташована в центральній частині західного краю площі, ділянка 3 – утворює напівкільце, південна, західна і північна частини якого фіксуються температурною зйомкою, а східна невизначена через відсутність ПС. За результатами досліджень 2021 р. підвищені значення показника спостерігалися вздовж північної частини площі.

Структурне дешифрування сканерних матеріалів дистанційних знімків виконано на засадах розробленого комп'ютеризованого методу (Азімов, 2008, 2014), який апробовано на ряді площ ДДЗ (Лялько та ін., 2015 та ін.). За результатами дешифрування складено зведені електронні (у векторному форматі) картосхеми елементарних лінеаментів і дуготипів (рис. 2, 3). Лінійні об'єкти згруповано в лінеаменти та їхні зони (рис. 2). Вони утворюють закономірно розташовані системи певних напрямків, головними з яких є діагональні. Лінеаментні зони інтерпретуються як активізовані на сучасному етапі тектогенезу структури диз'юнктивного походження. Їхній каркас являв базис для подальшого комплексного аналізу отриманого у процесі досліджень масиву різномірних даних.

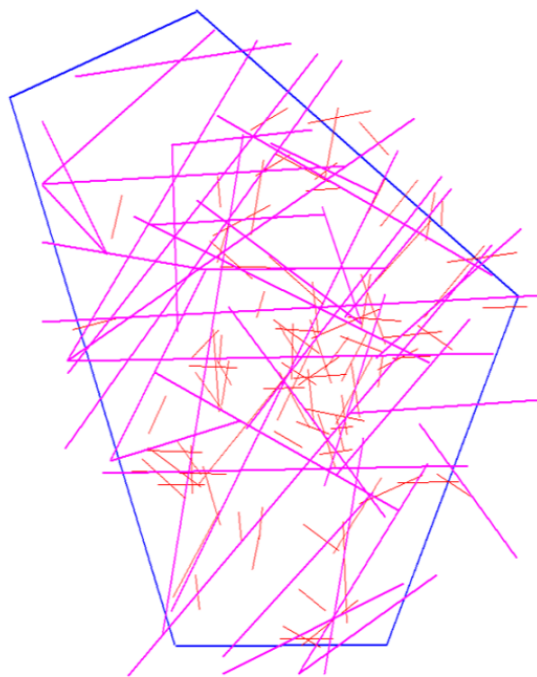


Рис. 3. П'ятигорівська площа. Зведена картосхема лінеаментного поля за результатами структурного дешифрування матеріалів багатозонального космічного знімання та ландшафтних і топогеодезичних даних: лінеаменти відносно нижчого рангу (малиновий колір), елементарні лінеаменти відносно вищого рангу (червоний колір)

Еманаційні дослідження (визначення об'ємної концентрації в підґрунтовому повітрі R_n , T_n та їх співвідношень) відображають здебільшого приурочені до зон тріщинуватості гірських порід зони геодинамічного напруження земної кори в межах досліджуваної площі, які пов'язані з відповідними зонами геодинамічного стиснення або розтягнення. За розподілом вказаних показників відзначається відсутність "ураганих" значень, що перевищують середнє + 3S. Показники фіксувалися на рівні фонових і незначною мірою підвищених значень. Це свідчить про відсутність інтенсивних геодинамічних напружень на площі. Разом з тим за результатами досліджень 2017 р. визначено дві зони відносного напруження, які охоплюють східну і північно-західну частини площі досліджень. За результатами робіт 2020 р. чітко визначаються дві локальні ділянки: північна і південна (рис. 5).

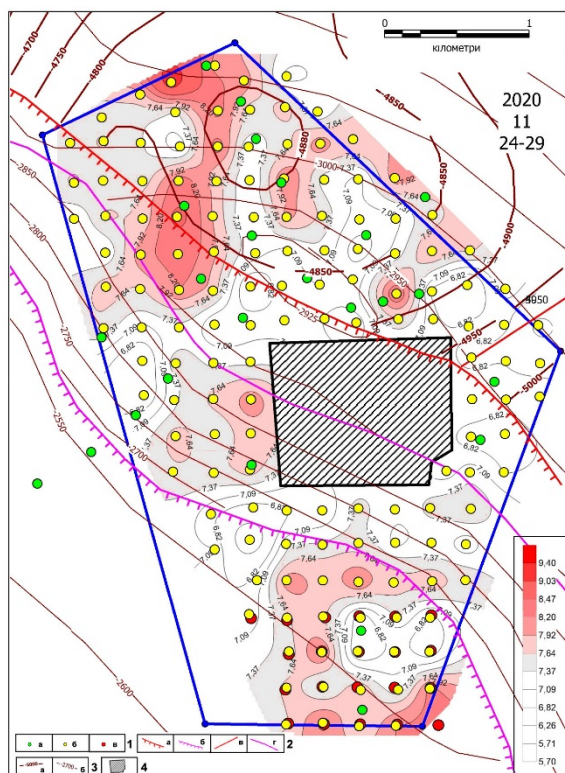


Рис. 4. Картохема розподілу температурних (Т, °С) показників підґрунтового шару порід

Умовні позначення: 1 – пункти спостережень СТАГД: а) 2017 р., б) 2020 р., в) 2021 р.; 2, 3 – дані сейсморозвідки МСГТ: 2 – розривні порушення: а, б – південне крайове, виявлене по горизонтах відбиття V_{I_2} (D_3^4) (а) і V_{B_3} (C_1V_1) (б), в, г – інші, по відбивних горизонтах V_{I_2} (а) і V_{B_3} (б); 3 – ізогіпси горизонтів відбиття V_{I_2} (а) і V_{B_3} (б); 4 – контур ділянки, у межах якої виконання робіт неможливо

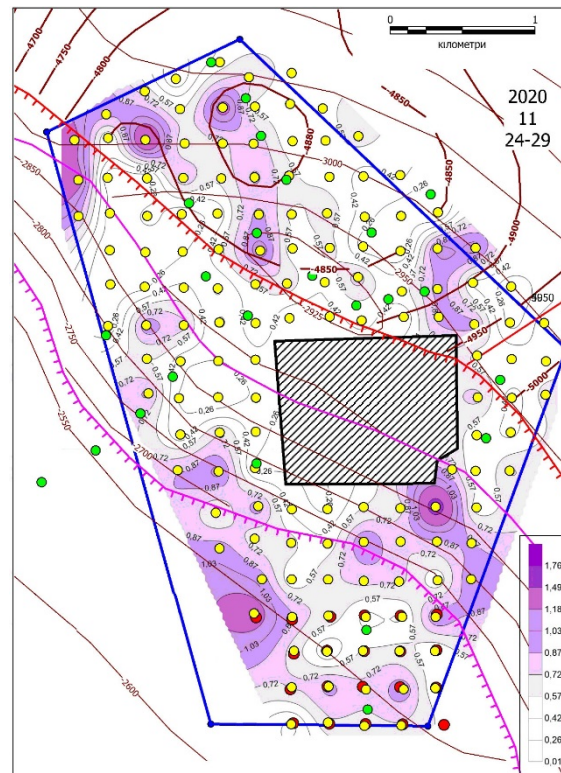


Рис. 5. Картохема розподілу радон/торонового (Rn/Tn) співвідношення

Атмосферохімічними дослідженнями концентрацій вуглекислого газу в підґрунтовому повітрі встановлено, що незалежно від року зйомки підвищені й аномальні значення його вмісту загалом збігаються з підвищеними значеннями радону і торону. Вуглекислий газ, як правило, свідчить про процеси окиснення, які найбільш інтенсивно проходять по зонах тріщинуватості, де існує постійний підтік з надр неокиснених вуглеводневих сполук, і в той же час є вільний кисень.

Гелій найбільшою кількістю проб (у 117 з 145) виявлено під час зйомки 2020 р. Підвищені його значення на площі загалом групуються на трьох ділянках: 1) лінійно витягнутій, що утворює аномалію з морфологією у плані типу "кутового клину"; розташована у північній частині площі; 2) колоподібній площовій (аномалія в центральній частині західної межі площі); 3) площовій, що закартована в центральній частині східної межі площі). Наявність гелію свідчить про активне розвантаження глибинних газів на площі досліджень, однак цей процес відбувається не по геодинамічно активних зонах, яким відповідають аномалії радону і торону.

За результатами проведеного дослідження водню у підґрунтовому повітрі в межах площі робіт не визначено. Можливо в існуючих місцях розвантаження цього газу проходять активні хімічні процеси, що його зв'язують, унаслідок чого концентрація водню істотно зменшується.

У межах площі робіт виконувались атмосферохімічні дослідження з визначення метану (CH_4), етану (C_2H_6), пропану (C_3H_8), ізобутану (iC_4H_{10}), бутану (nC_4H_{10}), ізопентану (iC_5H_{12}), пентану (C_5H_{12}), гексану (C_6H_{14}) та ненасичених вуглеводнів – етилену (C_2H_4) і пропілену (C_3H_6), складалися відповідні карти. За розподілом

метану і його гомологів виявлено складний і нерівномірний розподіл показників, що свідчить про дрібноблокову будову площі. Розподіл метану дещо відрізняється від розподілу його гомологів. Так метан загалом фіксується у північній частині площі, у той час як його гомологи утворюють дві зони – північно-східну і південно-західну. У деяких випадках на ПС підвищені значення гомологів метану просторово не збігаються з підвищеними значеннями концентрацій власне метану, що зазвичай спостерігається при існуванні диз'юнктивних порушень з похилими площинами розривів, які поряд з відомими за даними сейсморозвідки передбачаються нами. Разом з тим відмічається низька проникність площі крайового скиду Дніпровського грабену, в межах якого зафіксовані загалом фонові значення показників C_2H_6 , C_3H_8 , C_2H_4 , C_3H_6 , iC_4H_{10} , nC_4H_{10} , iC_5H_{12} , C_5H_{12} .

За результатами просторового розподілу атмосферохімічних показників виконано розрахунок вмісту суми гомологів метану C_2-C_6 (рис. 6). Побудовано відповідну карту, що дозволяє визначити слабопроникні для них місця в межах площі досліджень.

Критеріями виділення нафтогазоперспективних ділянок у межах П'ятигорівської площі нами вважалися відсутність аномальних полів, виділених за результатами аналізу матеріалів еманційних, термометричних і атмосферохімічних досліджень. На основі вивчення розподілу відповідних показників, використовуючи оригінальні обчислювальні програми (Багрий та ін., 2016), проведено районування території робіт і побудовано картохему розташування в її межах перспективних на пошуки покладів ВВ ділянок. Встановлено п'ять локальних ділянок складної конфігурації у плані, площа найменшої з яких становить 0,19 км², а найбільшої – 0,6 км² (рис. 7).

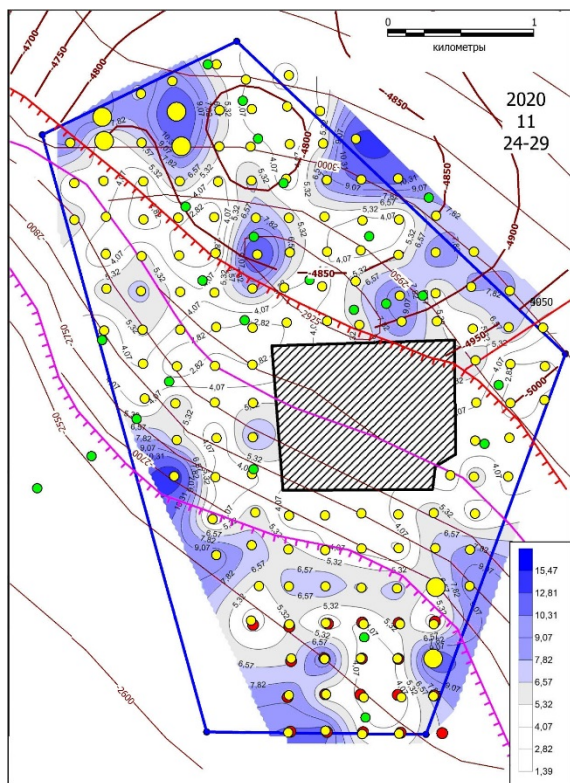


Рис. 6. Картошка розподілу показників суми вуглеводнів ($\Sigma C_2 - \Sigma C_6 \cdot 10^{-6}$, об. %). Умовні позначення див. на рис. 4, 5

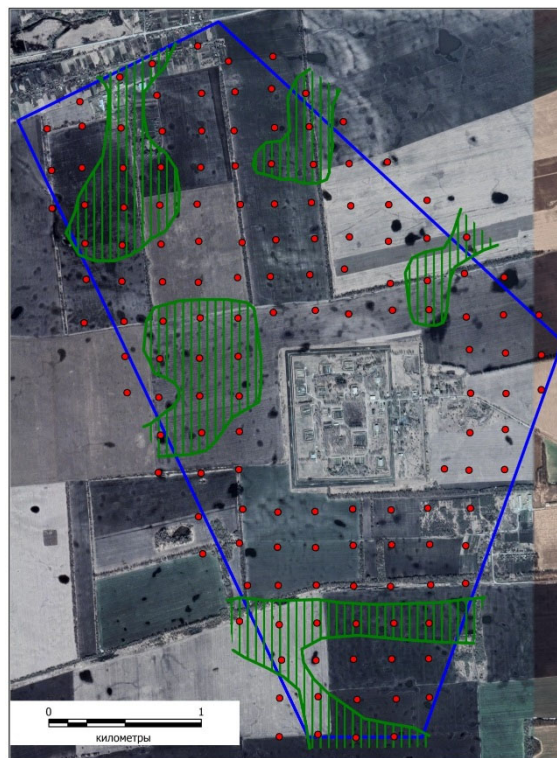


Рис. 7. П'ятигорська площа. Картошка просторового розміщення ПС (1) і перспективних на пошуки ВВ ділянок (2) за результатами комплексної інтерпретації даних СТАГД за інтерпретацією І. Багрія (Багрій та ін., 2021). Як підкладку використано космічний знімок, отриманий з інтернет-джерела (<https://www.google.com/maps>)

Висновки та перспективи досліджень. Отже, застосований комплекс приповерхневих методів досліджень засвідчив свою ефективність у вивченні особливостей геофлюїдодинаміки відомих і передбачуваних розривних порушень у межах П'ятигорської площі ДДЗ, диференціювавши їх на флюїдопровідні та непроники. Отримані матеріали складуть основу для подальшого підвищення ефективності прогнозних і пошукових робіт на поклади ВВ на площі. Для цього вони передані відповідному надрокористовачу (Товариству з обмеженою відповідальністю "Мастер Літ Індастрілз") для використання.

На наступному етапі досліджень необхідно застосувати дані мультиспектрального дистанційного знімання високого просторового, спектрометричного і радіометричного розрізнення (типу космічних знімків класу QuickBird, WorldView та ін., а також дані зйомки з безпілотних літальних апаратів). Водночас на підставі виконання структурно-геодинамічного методологічного підходу дешифрування даних дистанційних знімків (Азімов, 2008) можливо отримати уявлення про кінематичні особливості розривних порушень, характер і напрямки пов'язаних з ними неотектонічних рухів і напруг. Це важливо для якісної оцінки ступеня тріщинної проникності гірських утворень.

Список використаних джерел

- Азімов, О. (2014а). Основні методологічні принципи дослідження особливостей будови земної кори дистанційними технологіями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (64), 73–77.
- Азімов, О.Т. (2007а). Аналітичний огляд аерокосмічних методів вивчення геологічних структур і процесів. Ст. 2. Теоретичні основи

виявлення особливостей будови земної кори за матеріалами дистанційних зйомок. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*, 2, 250–260.

Азімов, О.Т. (2007б). Аналітичний огляд аерокосмічних методів вивчення геологічних структур і процесів. Ст. 3. Характеристика напрямів тематичного дешифрування матеріалів дистанційних зйомок. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*, 3, 124–136.

Азімов, О.Т. (2008). Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України). *Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.01 (Загальна та регіональна геологія)*. ІГН НАН України. Київ.

Азімов, О.Т. (2014б). Технологічна модульна схема оброблення–дешифрування–геологічної інтерпретації матеріалів аерокосмічних знімків. *Геоінформатика*, 2 (50), 43–55.

Азімов, О.Т., Багрій, І.Д., Дубосарський, В.Р., Чижиковський, В.С. (2021). Перспективи нафтогазоносності П'ятигорської площі Дніпровсько-Донецької западини за даними комплексу атмогеохімічних і дистанційних методів досліджень. *Зб. пр. Всеукр. конф. "Від мінералогії і геогеографії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття (MinGeoIntegration XXI)"*, м. Київ, 28-30 верес. 2021 р., 236–240. Отримано 03 лютого 2022, із http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2021_materials.pdf

Арсирій, Ю.А., Витенко, В.А., Палий, А.М., Цыпко, А.К. (Ред.) (1984). Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Мин-во геологии СССР, УкрНИГРИ.

Аэрокосмические исследования на региональном этапе геологического зведочных работ на нефть и газ. (1988). Мин-во геол. СССР, ВНИГНИ. Сост. Д.М. Трофимов, Л.П. Полканова. Москва: Недра.

Багрій, І.Д., Азімов, О.Т., Дубосарський, В.Р., Мамішев, І.Є., Малишев, О.М., Стародубець, К.М., Земський, Д.В., Зубаль, С.Д., Дем'ячук, Ю.П. (2021). Проведення структурно-атмогеохімічних досліджень на П'ятигорській площі: *Заключний звіт*. Київ: ІГН НАН України.

Багрій, І.Д., Карпенко, О.М., Семенюк, В.Г., Гафич, І.П., Дубосарський, В.Р., Маслун, Н.В., Аксьом, С.Д., Науменко, У.З., Наседкін, Є.І., Грига, М.Ю., Мамішев, І.Є., Малишев, О.М., Глонь, В.А., Гордєєва, Ю.К., Стародубець, К.М., Куліш, А.П., Карпенко, І.О., Подоба, В.О. (2016). Геолого-структурно-термо-атмогеохімічні технології прогнозування, пошуків і розвідки родовищ вуглеводнів. Навч. посіб. Київ: ІГН НАН України. ISBN 978-966-02-8042-7

Дворянин, С.С. (1996). Структурно-тектонічна карта Дніпровсько-Донецької западини (Поясн. записка, м-б 1:200 000). Київ: ДГП "Укргеофізика" Держкомгеології України.

Іванюта, М.М., Федішин, В.О., Денег, Б.І., Арсірій, Ю.О., Лазарук, Я.Г. (Ред.) (1998). Східний нафтогазоносний регіон. Атлас родовищ нафти і газу України. Т. 1. Львів: Вид-во "Центр Європи". ISBN 966-7022-04-8

Лялько, В.І., Азімов, О.Т., Яковлев, Є.О. (2015). Оцінка висхідної міграції забруднень під час видобутку сланцевого газу з урахуванням результатів дешифрування космоснімків. *Proc. 14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2015, Kiev, Ukraine*, 1–4. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412381>

Розанов, Л.Н. (1982). Геодинамический подход к дешифрированию космоснимков при решении задач нефтегазовой геологии. *Геология нефти и газа*, 6, 39–42.

Стадниченко, Г.С., Воскобойник, М.М. та ін. (1992). Звіт про проведення сейсморозвідувальних робіт на Лутайківсько-Хутірській площі сейсморегіону 5/88 в 1988-1992 рр. *Звіт КГРЕ ДГП "Укргеофізика"*. Київ.

Стовба, С.Н., Самойлюк, А.П., Турчаненко, Н.Т. и др. (1993). Анализ эффективности геофизических исследований ГПП "Укргеофизика". *Отчет по теме 113/89*. Кн. I. ГПП "Укргеофизика". № ГР 39-91-82/2. Киев.

Тарангул, Д.А., Макачук, А.Л., Самчук, А.А. и др. (1986). Детальные аэрокосмические исследования Глинско-Розбышевского, Прилукско-Лосиновского и Воскресеновского участков ДДВ с целью выявления перспективных площадей для сейсморазведочных работ: *Отчет о НИР по теме 82.67.84/01.11 (заключительный)*. КО ИГиРГИ. № ГР 39-84-133/13. Киев.

<https://www.google.com/maps>

References

Aerospace investigation on the regional stage of petroleum exploration work (1988). USSR Ministry of Geology, All-USRGPI. Moscow: Nedra. [in Russian]

Arsiriy, Yu.A., Vitenko, V.A., Paliy, A.M., Tsypko, A.K. (Eds.). (1984). Atlas of geological structure and oil-and-gas bearing of the Dnieper-Donets Depression Kiev. UkrSSR Ministry of Geology, UkrSGRI. [in Russian]

Azimov, O.T. (2007a). Analytical review of aerospace methods for investigation of geological structures and processes. Part 2. Theoretical foundations of revelation of the Earth crust's peculiarities of structure on the base of remote sensing data. *Sci. proc. of UkrSGRI*, 2, 250–260. [in Ukrainian]

Azimov, O.T. (2007b). Analytical review of aerospace methods for investigation of geological structures and processes. Part 3. Characteristic of thematic decoding lines of remote sensing data. *Sci. proc. of UkrSGRI*, 3, 124–136. [in Ukrainian]

Azimov, O.T. (2008). Research of disjunctive dislocations in the Earth's crust with remote sensing methods (by the examples of some Ukraine's regions). *Thesis ... Dr. Geol. Sci.: 04.00.01 (General and Regional Geology)*. IGS, NAS of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian]

Azimov, O. (2014a). Methodology of research into the Earth's crust structure via remote sensing technologies. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (64), 73–77. [in Ukrainian]

Azimov, O.T. (2014b). Modular flowchart of transformation, decoding and geological interpretation of remote aerospace survey data. *Geoinformatics*, 2 (50), 43–55. [in Ukrainian]

Azimov, O.T., Bagriy, I.D., Dubosarsky, V.P., Chizhikovskiy, V.S. (2021). Prospects of oil-and-gas occurrence for the Piatyhorivka area within the Dnieper-Donets Depression using atmogeochemical data set and remote sensing methods. *Proc. All-Ukrainian Conference "From Mineralogy and Geognosis to Geochemistry, Petrology, Geology and Geophysics: Fundamental and Applied Trends of XXIst Age (MinGeoIntegration XXI)", 28-30 September 2021, Kyiv*, 236–240. Retrieved February 03, 2022, from http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2021_materials.pdf. [in Ukrainian]

Bagriy, I.D., Azimov, O.T., Dubosarsky, V.P., Mamyshev, I.Ye., Malyshev, O.M., Starodubets, K.M., Zemsky, D.V., Zubal, S.D., Demianchuk, Yu.P. (2021). Implementation of structural and atmogeochemical investigations within the Piatyhorivka area. *Final report*. Kyiv: IGS of NAS of Ukraine. [in Ukrainian]

Bagriy, I.D., Karpenko, O.M., Semeniuk, V.H., Hafich, I.P., Dubosarsky, V.P., Maslun, N.V., Aksion, S.D., Naumenko, U.Z., Nasiedkin, Ye.I., Hryha, M.Iu., Mamyshev, I.Ye., Malyshev, O.M., Hlon, V.A., Hordieleva, Yu.K., Starodubets, K.M., Kulish, A.P., Karpenko, I.O., Podoba, V.O. (2016). Geostuctural, thermic, and atmogeochemical technologies of predicting and exploration of hydrocarbon deposits. Kyiv: IGS of NAS of Ukraine. ISBN 978-966-02-8042-7. [in Ukrainian]

Dvorianyn, Ye.S. (1996). Structural and tectonic map of the Dnieper-Donets Depression (Explanatory note, scale of 1:200 000). Kyiv: SGE Ukrgeofizyka, State Committee of Geology of Ukraine. [in Ukrainian]

Ivanyuta, M.M., Fedyshyn, V.O., Denega, B.I., Arsiriy, Y.O., Lazaruk, Y.G. (Eds.). (1998). Eastern oil-and-gas bearing region In: Atlas of oil and gas fields of Ukraine. Vol. I. Lviv: Centre of Europe Press. ISBN 966-7022-04-8 <https://www.google.com/maps>

Lyalko, V., Azimov, O., Yakovlev, Y. (2015). Estimation the upward migration of pollutions during the shale gas production subject to the results of space images decoding. *Proc. 14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2015, Kiev, Ukraine*, 1–4. Retrieved February 03, 2022 from <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412381>. [in Ukrainian]

Rozanov, L.N. (1982). Geodynamic approach to decoding of space images at the decision of tasks of petroleum geology. *Oil and Gas Geology*, 6, 39–42. [in Russian]

Stadnychenko, H.S., Voskoboinyk, M.M. et al. (1992). Report on implementation of seismic survey within the Lutaiky-Khutirsk area by the 5/88 seismic crew in 1988-1992. *Report. KGPE, SGE Ukrgeofizyka*. Kyiv. [in Ukrainian]

Stovba, S.N., Samoiluk, A.P., Turchanenko, N.T. et al. (1993). Analysis of efficiency of geophysical researches of the SGE Ukrgeofizyka. *Report on a theme of 113/89*. Vol. I. SGE Ukrgeofizyka. N SR 39-91-82/2. Kiev. [in Russian]

Tarangu, D.A., Makarchuk, A.L., Samchuk, A.A. et al. (1986). Detailed aerospace investigations for the Glinka-Rozbysheva, Priluki-Losinovka and Voskresenovka areas of the DDD with the purpose of detection of perspective areas for seismic survey. *Report for research investigation on a theme of 82.67.84/01.11 (final)*. KB of IGECM. N SR 39-84-133/13. Kiev. [in Russian]

Надійшла до редколегії 07.02.22

O. Azimov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Sci., Lead. Researcher,

E-mail: azimov@casre.kiev.ua,

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine,

55-B O.Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine;

I. Bagriy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,

E-mail: info@igs-nas.org.ua;

V. Dubosarsky, Cand. Sci. (Geol.), Lead. Researcher,

E-mail: dvr2569@ukr.net;

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine,

55-B O. Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

PREDICTING HYDROCARBON FIELDS USING THE COMPLEX OF ATMOGEOCHEMICAL AND REMOTE SENSING METHODS

Using the technology of structural, thermic, and atmogeochemical investigations a number of the studies within the Piatyhorivka area of the Dnieper-Donets Depression were performed. Among the studies there were the geostructural and morphostructural analyses, the structural interpretation of satellite data, field works on the emanation and thermometric surveys, laboratory chromatographic analyses of gas samples collected from the undersoil layer, integrated interpretation of atmogeochemical and remote sensing data, predicting oil-gas occurrence for the Piatyhorivka area.

It is found that this area is located in the complicated structural and tectonic environment. Within its boundaries the relative "autonomic" northern and southern zones of the anomalous gas elimination are detected and five local plots of the difficult configuration in a plane projected for the further exploration of oil and gas deposits are identified.

Keywords: remote sensing, thermometric, emanation, atmogeochemical investigations, oil and gas deposits, Dnieper-Donets Depression.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(98)

**Комп'ютерна обробка статей О. Козіонова
Computer processing of the articles by O. Kozionova**

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. 12,8. Наклад 300. **Зам. № 222-10447.**
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № ГлЗ.
Підписано до друку 30.09.22

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