

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричній базі даних Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

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 ResearchBib and Google Scholar.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрической базе данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, доц.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. 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, ст. наук. співроб.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.Л. Шевченко, д-р геол. наук, доц.; 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.
Адреса редколегії	Іноземні члени редакційної колегії: М. Бур'яник, Шелл Глобал Солюшн Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, М. Короновський, Московський державний університет імені М.В. Ломоносова; Росія, Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський Державний Технічний Університет, Казахстан; Д. Робертс, Стаффордширський університет, Велика Британія; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; М. Феді, Неапольський Університет Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології", ☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net; http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/ .
Затверджено	Вченою радою ННІ "Інститут геології" 28 лютого 2017 року (протокол № 9)
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 № 16181-4653Р від 25.12.09
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	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; 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 ResearchBib and Google Scholar.

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричній базі даних Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрической базе данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by O. Kozionova

EXECUTIVE EDITOR

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

EDITORIAL BOARD**Ukrainian members:**

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof. (Executive Editor); I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Executive Editor); O. Menshov, Cand. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.); V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Zacerkovniy, Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Kurganskiy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytropolskiy, Corr. NAS Ukraine, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), 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.), Senior Researcher; Prof.; M. Tolstoy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Assos. Prof.; 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:

M. Burianyk, Shell Global Solutions International, The Netherlands; L. Vernik, Marathon Oil Company, USA; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China; M. Koronovskiy, Lomonosov Moscow State University, Russia; D. Lentz, University of New Brunswick, Canada; 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; D. Roberts, Staffordshire University, Great Britain; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; M. Fedi, University of Naples Federoco II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia

Address

Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,
tel. +380442597030, e-mail: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/>

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
February 28, 2017 (Minutes # 9)

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 # 16181-4653P issued on 25.12.2009

Founded and published by

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Kyiv University Publishing
State Certificate # 1103 issued on 31.10.2002

Address:

Office 43, 14 Shevchenka Blvd, Kyiv, 01601
☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; Fax 239 31 28

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Дернов В. Строматоліти із башкірських відкладів Донецького басейну	6
--	---

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Багрій І., Карпенко О., Куліш А., Глонь В. Використання приповерхневих геохімічних методів для уточнення будови родовищ нафти і газу.....	14
---	----

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Шинкаренко А., Безродна І., Щуров І., Гафич І., Солодкий Є. Вплив змінного тиску на акустичні та ємнісні властивості теригенних порід-колекторів (на прикладі Семиріньківської площі)	19
Меньшов О., Кампс П. Перші результати екомагнітних досліджень слабкоурбанізованих міст на прикладі Трускавця (Україна) та Монпельє (Франція)	27
Друкаренко В., Орлюк М. Про структурно-генетичний зв'язок шляхів міграції та накопичення вуглеводнів з магнітною неоднорідністю земної кори північно-західної частини Дніпровсько-Донецького авлакогену.....	33
Глоба М., Зінченко І., Глоба Я., Дзюба О. Геофізичні методи досліджень трубопровідних транспортних систем	42

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Михайлов В., Загнітко В., Курило М. Перспективи інвестицій в мінерально-сировинний комплекс України	47
Стрельцов В., Євтехов В., Євтехова А. Деякі особливості мінералогічної зональності залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну.....	52
Загнітко В., Михайлов В., Кривдік С., Сидорчук В. Генетичні особливості та ресурси рідкіснометалевих родовищ Українського щита.....	58

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Кузьменко Е., Давибіда Л., Зінченко В., Нікіташ А., Яковлєв Е. Джерела живлення та динаміка рівнів ґрунтових вод на Правобережжі Київського водосховища	66
Памела Нолакана, Абді Сіад, Хенок Соломон Оцінка придатності підземних вод для побутового вжитку та поливу у Ньюкаслі, Квазулу-Натал, Південна Африка	76

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Шевчук В., Іванік О., Лавренюк М., Савельєв М. Розробка алгоритмів та програмних компонент моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву при розробці вугільних пластів	85
Вижва З., Демидов В., Вижва А., Федоренко К. Статистичне моделювання двовимірного випадкового поля з кореляційною функцією типу Коші в геофізичній задачі моніторингу довкілля	93

ПОДІЇ

Про відновлення роботи Міжвідомчого тектонічного комітету України.....	100
--	-----

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Dernov V. Stromatolites from bashkirian deposits of Donets basin	6
--	---

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Bagriy I., Karpenko O., Kulish A., Glon V. Near-surface geochemical methods for petroleum fields' structure elaboration	14
---	----

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Shynkarenko A., Bezrodna I., Shchurov I., Gafyth I., Solodkyi I. Influence of variable pressure on acoustic and volumetric properties of terrigenous reservoir rocks (on the example of Semyrenkivska area samples)	19
Menshov O., Camps P. Preliminary results of the environmental magnetic studies of the slightly urbanized cities. Case study from Truskavets (Ukraine) and Montpellier (France)	27
Drukarenko V., Orlyuk M. Structural genetic relation of migration paths and hydrocarbons accumulation with earth crust magnetic heterogeneity of north-western part of the Dnieper-Donets aulakogen	33
Hloba R., Zinchenko I., Hloba Y., Dziuba O. Geophysical methods application for pipeline transport systems	42

MINERAL RESOURCES

Mykhailov V., Zagnitko V., Kurylo M. Prospects for investment in mineral resources sector of Ukraine	47
Streltsov V., Evtekhov V., Evtekhova A. Some mineralogical zoning features of iron ore riebeckite metasomatites in the Kryvyi Rih basin	52
Zagnitko V., Mykhailov V., Kryvdic S., Sydorchuk V. Genetic features and resources of rare metal deposits of the Ukrainian shield	58

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Kuzmenko E., Davybidia L., Zinchenko V., Nikitash A., Yakovlev E. Power sources and dynamics of groundwater levels on the Right bank of the Kyiv reservoir	66
Pamela Nolakana, Abdi Siad, Henok Solomon Evaluation of groundwater suitability for domestic and irrigational purposes in Newcastle, Kwazulu-Natal, South Africa	76

GEOLOGICAL INFORMATICS

Shevchuk V., Ivanik O., Lavrenyuk M., Saveliev M. Development of algorithms and software components for modeling of stress-strain state of rocks during coal deposits exploration	85
Vyzhva Z., Demidov V., Vyzhva A., Fedorenko K. Statistical simulation of 2d random field with Cauchy correlation function in the geophysics problem of environment monitoring	93

EVENTS

Resumption of the work of the Interdepartmental Committee of Ukraine	100
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Дернов В. Строматолиты из башкирских отложений Донецкого бассейна.....	6
--	---

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Багрий И., Карпенко А., Кулиш А., Глонь В. Использование приповерхностных геохимических методов для уточнения строения месторождений нефти и газа	14
--	----

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Шинкаренко А., Безродная И., Щуров И., Гафич И., Солодкий Е. Влияние переменного давления на акустические и емкостные свойства терригенных пород-коллекторов (на примере образцов Семиренкова площади)	19
Меньшов А., Кампс П. Первые результаты экоманнитных исследований слабоурбанизированных городов на примере Трускавца (Украина) и Монпелье (Франция)	27
Друкаренко В., Орлюк М. О структурно-генетической связи путей миграции и скопления углеводородов с магнитной неоднородностью земной коры северо-западной части Днепровско-Донецкого авлакогена	33
Глоба Р., Зинченко И., Глоба Я., Дзюба О. Геофизические методы исследований трасс трубопроводных транспортных систем	42

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Михайлов В., Загнитко В., Курило М. Перспективы инвестиций в минерально-сырьевой комплекс Украины	47
Стрельцов В., Евтехов В., Евтехова А. Некоторые особенности минералогической зональности железистых рибекитовых метасоматитов Криворожского бассейна	52
Загнитко В., Михайлов В., Кривдик С., Сидорчук В. Генетические особенности и ресурсы редкометальных месторождений Украинского щита	58

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Кузьменко Э., Давыбида Л., Зинченко В., Никиташ А., Яковлев Е. Источники питания и динамика уровней грунтовых вод на Правобережье Киевского водохранилища	66
Памела Нолакана, Абди Сиад, Хенк Соломон Оценка пригодности подземных вод для бытового потребления и полива в Ньюкасле, Квазулу-Натал, Южная Африка	76

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Шевчук В., Иваник Е., Лавренюк М., Савельев М. Разработка алгоритмов и программных компонент моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива при разработке угольных пластов	85
Выжва З., Демидов В., Выжва А., Федоренко К. Статистическое моделирование двумерного случайного поля с корреляционной функцией типа Коши в геофизической задаче мониторинга окружающей среды	93

СОБЫТИЯ

О возобновлении работы Межведомственного комитета Украины	100
---	-----

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.72:551.735.2 (477.6)

В. Дернов, магістр географії, вчитель
E-mail: slavianin2013@mail.ru
Македонівський навчально-виховний комплекс
вул. Ювілейна, сел. Македонівка, Луганська область, 92033, Україна

СТРОМАТОЛІТИ ІЗ БАШКИРСЬКИХ ВІДКЛАДІВ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ

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

Вивчено унікальні кременисті строматоліти з вапняку G₂ моспинської світи верхнього башкиру Донбасу. В результаті детальних досліджень серед них виділено чотири морфотипи: пластовий, нодулевидний, стовпчастий не гіллястий та пластово-стовпчастий. Тут же встановлено згодом невеликі онколіти. Вивчені строматоліти за класифікацією, в основу якої покладено принципи ботанічної номенклатури, віднесено до класу стріолітів. В дану групу об'єднано строматоліти первинно кременистого складу.

Строматоліти, як правило, є індикаторами мілководних умов басейну, оскільки нормальний розвиток ціанобактерій можливий лише на невеликих глибинах. На мілководність умов утворення вапняку G₂ вказують також численні літо- та біофаціальні дані. Таким чином, вивчені біогенні структури утворилися в умовах верхньої частини субліторалі – за гарної аерації вод, на глибинах до 20 м. Широкий розвиток строматолітових споруд у вапняку різко контрастує з майже повною відсутністю в ньому коралів. Це свідчить про нестійку солоність води.

Частина палеоакваторії, де присутні кременисті строматоліти, відчувала періодичне значне, проте локальне, опріснення за рахунок проникнення великих об'ємів прісної води в морський басейн. Це відбувалося, можливо, на фоні порівняно значного випаровування. В результаті дії цих процесів вміст розчиненого кремнезему у водах різко підвищувався. Згодом, коли фактор опріснення вод припиняє діяти або/та концентрація кремнезему в воді падала за рахунок його зв'язування в строматолітових спорудах, ціанобактерії вже були не здатні осаджувати SiO₂ і ріст строматолітів закінчувався.

Виникнення характерної шаруватої мікроструктури строматолітів пов'язане з фактором сезонності: світлі шари формувалися в умовах досить значної кількості опадів під час сезону дощів, а темні – протягом відносно сухої пори року.

Зважаючи на велике науково-просвітницьке значення та унікальність вивчених строматолітів, ми вважаємо, що деякі відслонення вапняку G₂ заслуговують набувти статусу природоохоронних об'єктів.

Ключові слова: строматоліти, кам'яновугільні відклади, Донецький басейн.

Постановка проблеми. Палеонтологічна вивченість кам'яновугільних відкладів Донецького басейну за рівнем є унікальною: починаючи з першої половини XIX століття кілька поколінь палеонтологів вивчали викопну фауну і флору карбону Донбасу. Виняткове багатство кам'яновугільного розрізу цього району залишками різноманітних морських та наземних організмів також мало значний вплив на розвиток палеонтологічних досліджень. Незважаючи на це, деякі групи організмів (голкошкіри, членистоногі, риби), окремі інтервали розрізу (наприклад, верхня частина араукаризової світи) та значні за площею частини Донецького басейну (Нагольний кряж) є все ще недостатньо дослідженими. Слід також зазначити, що вказаний район є зручним полігоном вивчення тафonomії та екології викопних фаун та флор. Можливість подібних досліджень забезпечує повнота та поліфаціальність розрізу, а також детальна літологічна, палеогеографічна та стратиграфічна вивченість кам'яновугільних відкладів.

В останній час спостерігається посилення зв'язків між окремими науками та розширення об'єктів їх дослідження. Зазначене в повній мірі стосується і палеонтології. Наприклад, в її структурі порівняно нещодавно виник напрям, який дістав назву "бактеріальна палеонтологія" [16]. Перші здобутки цієї "малої науки" (за С.В. Мейеном), яка займається вивченням викопних бактерій та продуктів їх життєдіяльності, вже дозволили на новому підґрунті оцінити значення палеонтології для седиментології та інших геологічних наук [16]. На жаль, кам'яновугільні відклади Донецького басейну є майже не дослідженими в цьому відношенні.

В ході вивчення середньокам'яновугільних відкладів, поширених в мікрорайоні Великої Кам'янки та Вільхової (праві притоки Сіверського Дінця), нами знайдено утво-

рення, інтерпретовані як строматоліти – фосилізовані колонії ціанобактерій [12, 13]. Вони приурочені до вапняку G₂, який залягає у середній частині моспинської світи (зуївський горизонт, каяльський регіонарус – рис. 1). Строматоліти Донбасу майже не вивчені (наприклад, в узагальнюючих роботах, присвячених строматолітам верхнього палеозою колишнього СРСР [6, 20] немає жодної згадки про Донбас), тому отримані дані мають важливе наукове значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Строматоліти раніше відзначалися в кам'яновугільних відкладах Донбасу В.Є. Поляковою [15], яка вказала на присутність в серпиховських відкладах строматолітових споруд, приурочених до "фації строматолітових лагун". О.І. Берченко відзначала в турнейських відкладах Південного Донбасу дрібні "жовна" синьо-зелених водоростей, поширених серед відкладів мілководного морського басейну з порушенням сольовим режимом [2]. В.В. Огар в роботі [21] описав органогенні (в тому числі строматолітові) споруди карбону Донецького басейну.

Матеріал та методика. Вапняк G₂ вивчено по 12 відслоненням (Рис. 2), розташованих в околицях с. Македонівка Лутугинського району Луганської області. Дослідження проводилися нами протягом польових сезонів 2006-2016 рр. На біогенну природу прошарків кременів у вапняку звернув нашу увагу канд. геол.-мін. наук М.І. Удовиченко (Луганськ). Моспинська світа в районі досліджень представлена потужною (650-700 м) товщею циклічного перешарування пісковиків (близько 37 % розрізу), алевролітів (35,7 %), глинистих сланців (26 %) з рідкісними прошарками вапняків (0,9 %) та кам'яного вугілля (0,33 %). В південному та південно-східному напрямках відклади світи заміщуються переважно глинистими відкладами д'яківської серії.

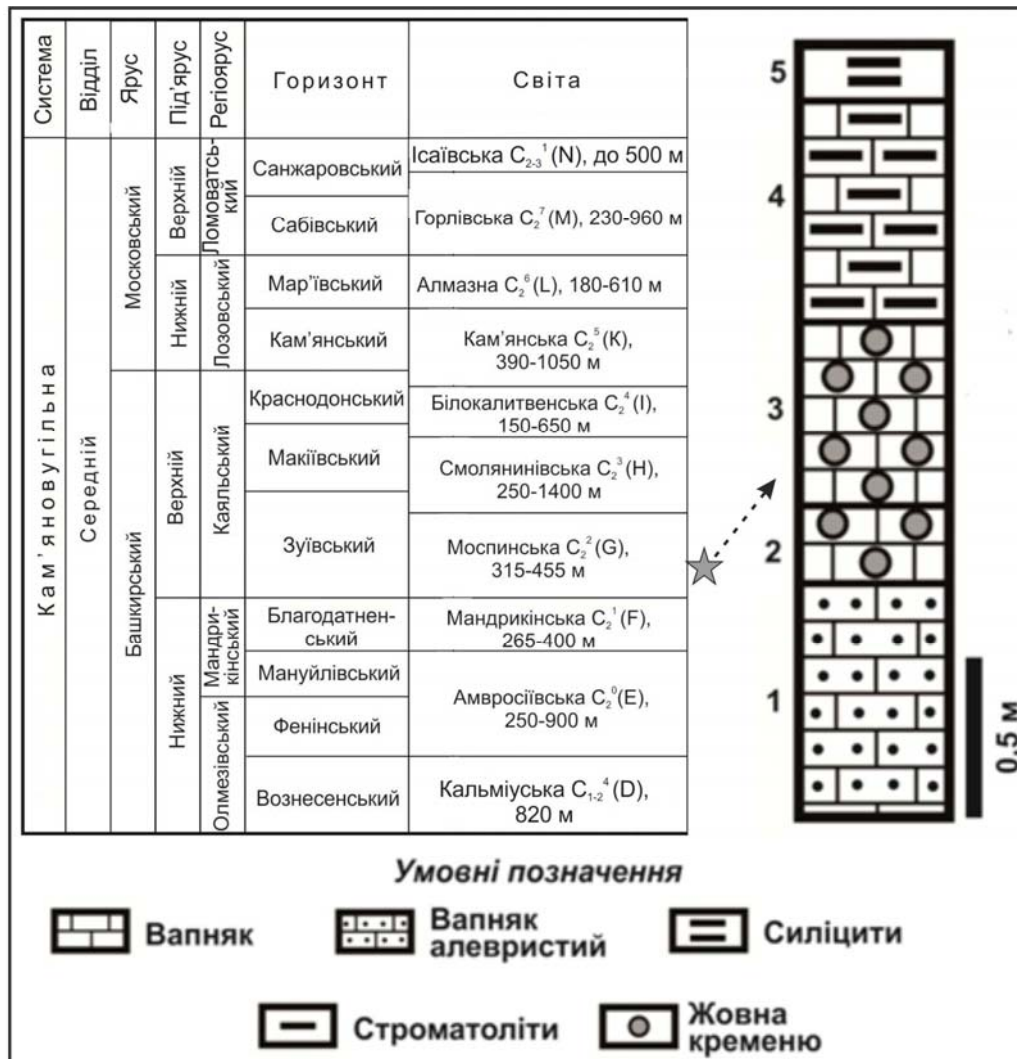


Рис. 1. Стратиграфічне положення та будова вапняку G2 біля с. Македонівка

Викладення основного матеріалу. Нижче описуємо розріз вапняного шару G2 по місцезнаходженню № 12, де він представлений найкраще (знизу догори):

1. Вапняк коричнево-жовтий, сильно забруднений алевритовим матеріалом (місцями вапняк заміщується вапнистим алевролітом), плитчастий, злегка біотурбований, горизонтально- та хвилястошаруватий. Спостерігаються скупчення слюди на поверхнях нашарування. Відзначено рештки брахіопод, цефалопод, криноїдей, які інколи утворюють невеликі скупчення. Також присутні іхнофосилії (*Zoophycos isp.*, *Nereites isp.*, мікрокопроліти та ін.). У верхній частині шару вапняк набуває темно-сірого кольору. Контакти поступові. Товщина – 0,7 м.

2. Вапняк жовтий та жовтувато-бурий, міцний, при ударі молотком розсипається на кутасті гострі уламки. Дуже рідко зустрічаються дрібні (до 30 мм) жовна чорного халцедону та гнізда білого кальциту. Встановлено рештки беззамкових і замкових брахіопод, гастропод, цефалопод та криноїдей. Верхній контакт поступовий. Товщина – 0,15-0,30 м.

3. Вапняк жовтувато-сірий, товстоплитчастий, слабо алевристий, місцями злегка окременілий. Знайдено фрагменти колоній моховаток, черепашки брахіопод та рідкісні членики криноїдей. Скам'янілості зустрічається у вигляді невеликих скупчень на поверхнях нашарування. Відмічено рідкісні іхнофосилії *Zoophycos isp.* Верхній контакт поступовий. Товщина – 0,55 м.

4. Вапняк темно-сірий (Рис. 3, фіг. 1), майже чорний, товстоплитчастий, щільний. Спостерігаються численні строматолітові споруди (особливо у верхній частині шару). У вигляді окремих гнізд в невеликих заглибинах в тілі строматолітових споруд та між ними трапляються скупчення колоній моховаток, черепашок брахіопод, гастропод, цефалопод та члеників криноїдей. Розсіяно, окрім вище згаданих, зустрічаються залишки коралів, пелеципод і риб. Фосилії інколи утворюють валики, намиті хвилями. Дуже рідко спостерігаються невеликі брахіоподові банки, утворені черепашками продуктид. Верхній контакт порівняно різкий, дуже нерівний (інколи він досить "розпливчастий"). Товщина – 0,7 м.

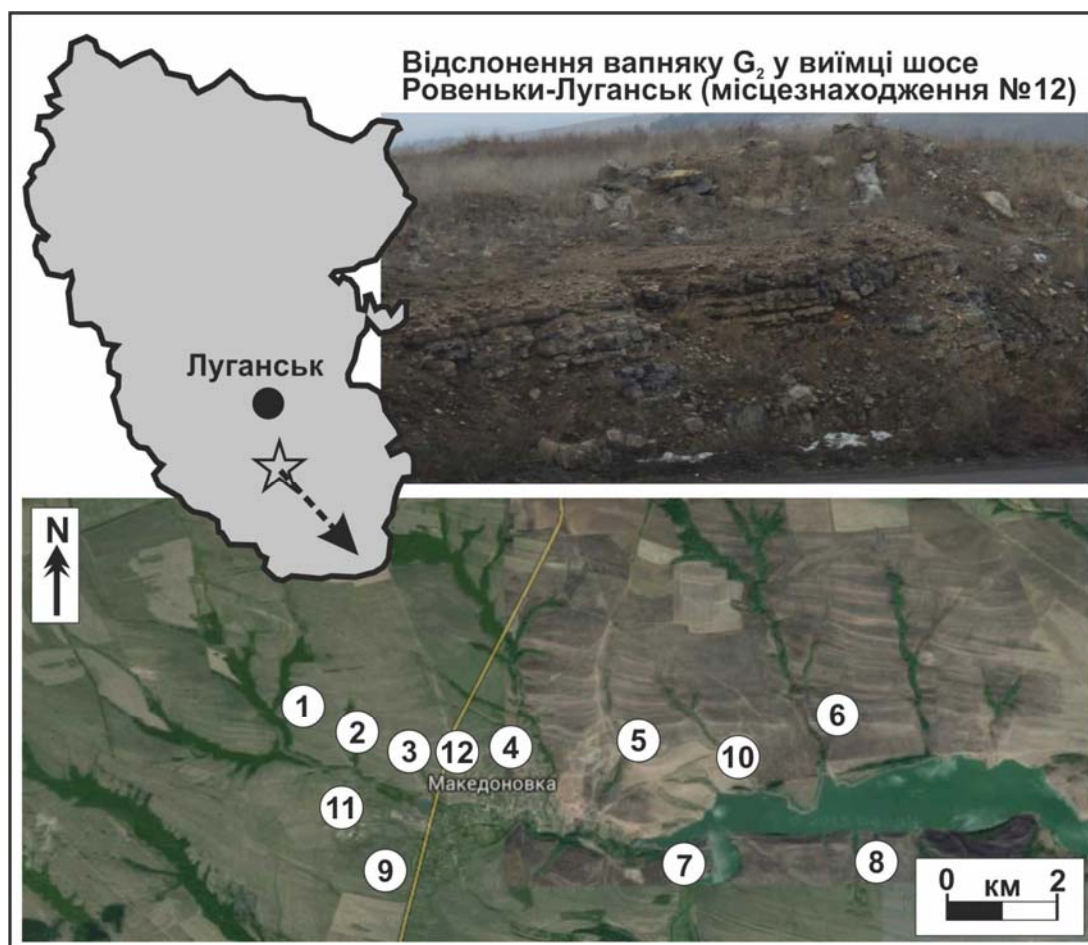


Рис. 2. Географічне положення району досліджень, розташування вивчених відслонень (космічний знімок з ресурсу Google Maps) та фото місцезнаходження № 12 (нумерація відслонень відповідає їх номерам в тексті)

5. Силіцити чорні, при вивітрюванні – жовто-коричневі та сірувато-жовті, міцні. В деяких місцях розрізняється характерна строматолітова мікрошарувата структура. Спостерігаються тонкі невитримані прожилки кварцу та проблематичні фосилії у вигляді ниток та смужок, довжиною до 30 мм. Рештки макрофауни зустрічаються дуже рідко (знайдено одну рогозу та черепашки замкових брахіопод). Карбонат кальцію скелетних рештків заміщено кремнеземом. Верхній контакт різкий, хоча інколи перехід силіцитів у вищезалігаючі кременисті пісковики досить поступовий. Локально (наприклад, в західній частині місцезнаходження № 12) дані силіцити відсутні і вищезалігаючі пісковики пластуються безпосередньо на вапняку. Товщина – 0,20-0,25 м.

Перебиваються силіцити пісковиком. Внизу він бурувато- та жовтувато-сірий, дрібнозернистий, міцний, кремений, із рештками брахіопод, риб, моховаток та фітофосиліями (товщина – 0,3 м). У верхній частині пісковик бурувато-жовтий та сірий, тонкозернистий, алеврестий, тонкоплитчастий, горизонтальношаруватий, слабо біотурбований, слюдистий, з ядрами черепашок гастропод (товщина – 0,5 м). На деяких місцезнаходженнях пісковик стає бурувато-сірим, тонкозернистим, алеврестим, плитчастим, з рідкісними скупченнями на площинах нашарування фрагментів стебел криноїдей та черепашок пелеципод. У всій товщі відзначено іхнофосилії *Zoophycos isp.* На місцезнаходженні № 9 пісковик заміщується світло-сірим карбонатним пісковиком/піщаним вапняком із рідкісними залишками брахіопод,

члениками криноїдей та іхнофосиліями *Zoophycos isp.* Пісковики та силіцити мають поступовий контакт.

Підстеляється вапняк пісковиком жовтувато-бурим та сірим, слюдистим, плитчастим, хвилясто- та горизонтальношаруватим, в нижній частині – інтенсивно біотурбованим. У вигляді невеликих скупчень на поверхнях нашарування несуттєво біотурбованих прошарків пісковика рідко спостерігаються рештки брахіопод, пелеципод та гастропод. В біотурбованих пісковиках макрофауна майже не зустрічається. Верхній контакт поступовий. Товщина – 1,0-1,2 м.

Дещо нижче вапнякового шару залягають алевроліти та глинисті сланці із рештками амонітоїдів родів *Gastrioceras* Hyatt, 1884 та *Branneroceras* Plummer et Scott, 1937, що чітко вказують на приналежність відкладів моспінської світи до пізньобашкирської амонітоїдної генозони *Branneroceras*–*Gastrioceras*.

Строматоліти відзначені не на всіх вивчених відслоненнях вапняку G2. На місцезнаходженні № 9 строматоліти не встановлені. На місцезнаходженні № 11 знайдено рідкісні строматолітові споруди, що неконтрастно проявлені на фоні породи. На сході території досліджень (в районі с. Паліївка, Лутугинський район) строматоліти в складі вапнякового шару не встановлені, хоча на місцезнаходженні № 7 у вапняку спостерігаються невеликі строматоліти та силіцити (шар № 5). Вони ж відзначені на місцезнаходженнях 5 та 10. Тут будова верхньої частини вапнякового шару дещо відрізняється від вищеописаного розрізу, тому ми зупинимося детально на її описі (знизу догори):

А. Вапняк сірий, міцний. Спостерігаються дрібні (до 0,07 м) строматоліти. Видима товщина – 0,2 м.

В. Вапняк з численними строматолітовими спорудами. Товщина – 0,6 м.

С. Вапняк сірий, міцний, без строматолітів. Товщина – 0,1-0,2 м.

Д. Пластовий строматоліт, представлений сірувато-жовтим кременем. Спостерігається чітка стрічкова мікроструктура. Верхній контакт досить рівний; нижній – дуже нерівний. Товщина – 0,15 м.

Е. Вапняк з дрібними рідкісними нодулевидними строматолітами, розміром до 0,05 м; контакт з силіцитами нерівний. Товщина – 0,1 м.

Ф. Силіцити бурувато-сірі, жовтувато-сірі та жовтувато-коричневі. Нижня частина шару, очевидно, менш кремнеземиста, так як легше піддається денудації. Товщина – 0,3 м.

Силіцити шару F відповідають шарові № 5 розрізу по місцезнаходженню № 12. Шари А-Е є аналогами шару № 4 вищезазначеного місцезнаходження.

На заході району досліджень (околиці сел. Червона Поляна, Антрацитівський район) гарних відслонень вапняку не виявлено, хоча на старому ріллі в 6 км західніше окраїни с. Македонівка, а також на ґрунтовій дорозі, що веде в сел. Червона Поляна з шосе Ровеньки-Луганськ нами відзначалися великі брили вапняку G2 з прошарками і лінзами темних кременів. На місцезнаходженні № 1 у вапняку строматоліти зустрічаються порівняно часто. На півночі вивченої території (в 2 км північніше місцезнаходження № 4) по висипкам встановлено, що вапняк містить рідкісні строматоліти, які не контрастно виділяються на породі. Втім, брили вапняку могли бути привезені сюди в ході будівництва шосе Ровеньки-Луганськ. На відслоненнях 3-5 та 12 відзначено різні морфотипи строматолітів. Тут вони інколи складають до 40-60 % об'єму породи шару № 4. В опорному розрізі моспинської світи по балці Рудяній в околицях с. Іллрія (в 30 км на північний захід від с. Македонівка) вапняк G2 відсутній. По балці Кручик – стратотипові зуйвського горизонту (околиці с. Грабове, Шахтарський район Донецької області), у жодному вапняку строматоліти не встановлені [14]. Таким чином, строматоліти у вапняку G2 характерні лише для обмеженого району у верхів'ях Великої Кам'янки.

Строматоліти зустрічаються виключно у шарі № 4, де представлені, за класифікацією запропонованою в роботі [16], пластовим, нодулевидним (рос. "желваковым"), стовпчастим не гіллястим та стовпчато-пластовим типами. Складені строматоліти чорними кременем, проте зустрічаються ділянки більш або менш збагачені кремнеземом. Часто окремі шари строматоліту, що, як правило, забарвлені в більш світлі тони (бурувато-сірі, жовтувато-сірі) слабо реагують з соляною кислотою, тобто містять в своєму складі карбонат каль-

цію. Такі шари гарно вирізняються на звітреній поверхні строматоліту завдяки частим дрібним порам, що виникли, внаслідок розчинення CaCO_3 . На фоні вапняку, як правило, виділяється лише найбільш мінералізована осьова (для стовпчастих споруд) та серцевинна (для нодулевидних та пластових) частини строматоліту. Периферійні частини строматолітів, як правило, мають вигляд своєрідного ореолу, що оточує серцевину споруди. Ця обставина створює враження нечіткої межі строматоліту та вапняку.

Мікроструктура (Рис. 3, фіг. 7, 10, 11) строматолітів представлена стрічковим типом, утвореним чергуванням світлих (у звітреному стані – світло-сірих, жовтувато-сірих, брудно-білих та світло-сірих) і чорних та темно-сірих шарів, товщиною 0,5-7 мм та 0,2-0,4 мм відповідно. Темні шари, вірогідно, збагачені органічною речовиною, в той час як світлі – майже виключно мінеральні. Мікроструктура спостерігається лише на досить звітrenих ділянках строматолітів. На свіжому зламі вона майже не проглядається. Проте, навіть в межах одного приблизно рівномірно звітреного строматоліту вона спостерігається не скрізь – на деяких ділянках її не видно. Відзначимо, що найбільш чітка мікроструктура спостерігається в строматолітах, що залягають в верхній частині шару № 4; в строматолітах нижньої та середньої частини вказаного шару, як правило, мікроструктура не спостерігається навіть на сильно звітrenих зразках.

В тілі строматолітових споруд інколи зустрічаються залишки морської фауни (фрагменти черепашок брахіопод, членики стебел криноїдей та ін.), захоплені з осаду в процесі росту ціанобактеріальних матів. В деяких випадках органічні рештки безпосередньо впливали на ріст та морфологію ціанобактеріальних матів. Наприклад, характерна кільцеподібна форма одного зі строматолітів виникла внаслідок обмежувальної ролі стулки черепашки брахіоподи, яка тісно прилягала до ціанобактеріального мату. На контакті нижньої поверхні строматолітів та вапняку часто спостерігаються скупчення дрібного мушлевого детриту. В одному випадку, в центральній частині сильно звітреного стовпчастого строматоліту, нами спостерігалась округла в поперечному перетині трубочка, діаметром 4 мм і довжиною 40 мм. Вона перетинає строматоліт від нижньої поверхні до верхньої перпендикулярно відносно площини накопичення осаду. Судячи з усього, вона є найбільш мінералізованою осьовою частиною строматоліту, яка не зруйнувалася під дією ерозії, на відміну від сусідніх частин споруди. Крім того, вертикальна жилка темного халцедону (?), потужністю 3 мм і видимою протяжністю 45 мм була знайдена нами в осьовій частині невеликого стовпчастого строматоліту. Інколи в тілі малопотужних пластових строматолітів спостерігаються різкі депресії, які, очевидно, повторюють незначні нерівності морського дна.

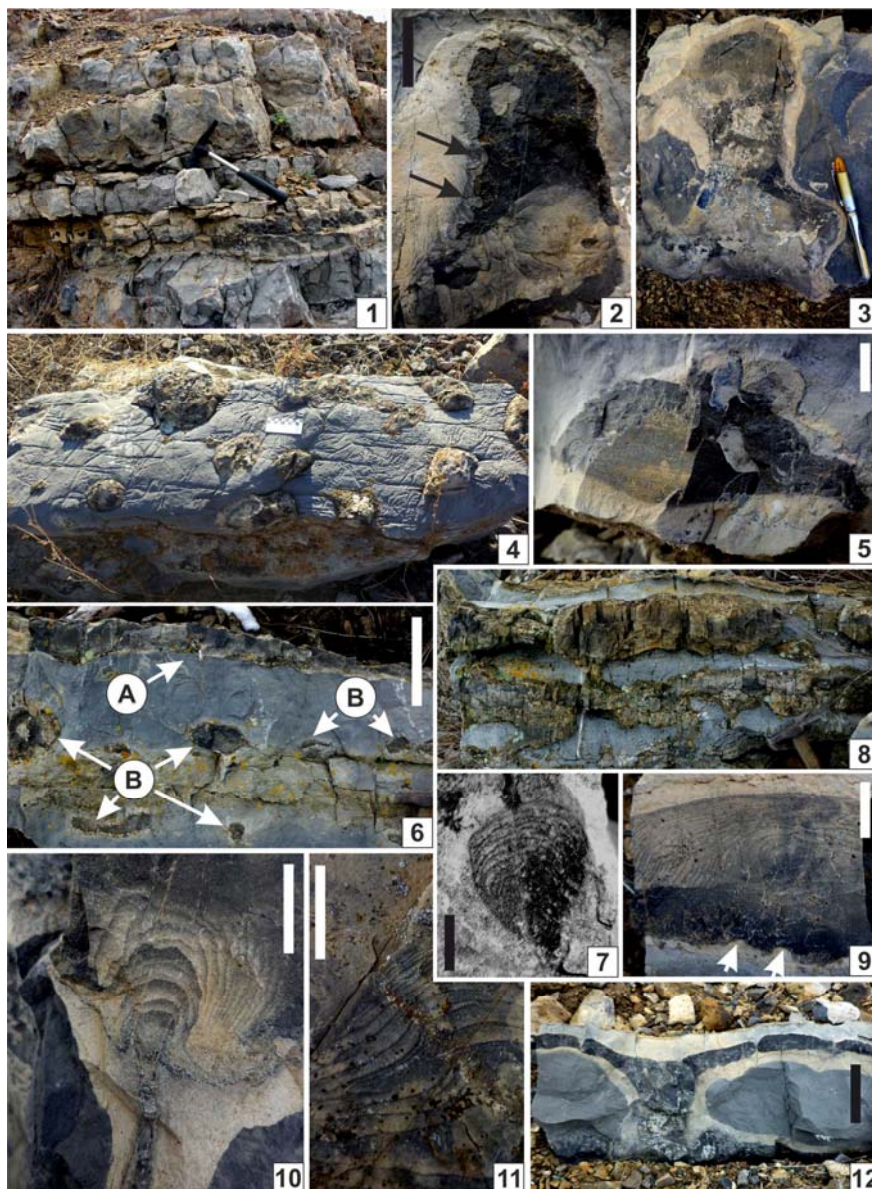


Рис. 3. Вапняк G2 та морфологічні особливості строматолітів

- Фіг. 1. Вапняки шару № 4: місцезнаходження № 12. Фіг. 2. Стовпчастий не гіллястий строматоліт, стрілками показано виїмки та "кишені" на боковій поверхні строматоліту: місцезнаходження № 12, довжина відрізка – 4 см. Фіг. 3. Стовпчастий не гіллястий строматоліт: місцезнаходження № 12. Фіг. 4. Верхня поверхня сильно звітненого блоку вапняку G2 з порівняно великими нодулевидними строматолітами: місцезнаходження № 12, довжина лінійки – 10 см. Фіг. 5. Нодулевидний строматоліт: місцезнаходження № 12, довжина відрізка – 2 см. Фіг. 6. Строматоліти на боковій поверхні блоку вапняку G2 (шар № 4): пластовий строматоліт (А) та нодулевидні строматоліти (В), місцезнаходження № 3, довжина відрізка – 15 см. Фіг. 7. Онколіт (?): місцезнаходження № 4, довжина відрізка – 1 см. Фіг. 8. Строматоліти на боковій поверхні сильно звітненого вапняку (шар № 4): місцезнаходження № 12. Фіг. 9. Деталь будови нодулевидного строматоліту, стрілками вказані виїмки та "кишені" на поверхні споруди: місцезнаходження № 12, довжина відрізка – 2 см. Фіг. 10, 11. Деталі будови строматолітів: місцезнаходження № 12, довжина відрізків на всіх фігурах – 1 см. Фіг. 12. Пластово-стовпчастий строматоліт: місцезнаходження № 12, довжина відрізка – 5 см.

Як відзначає І.М. Крилов [7], переважна більшість строматолітів (90-95 %) складена карбонатними мінералами. Окрім них відомі строматоліти фосфатного, сульфідного, сульфатного складу, а також утворені оксидами і гідроксидами заліза та кремнеземом. Таким чином, зважаючи на кременистий склад строматолітів, можемо стверджувати, що виявлені нами біогенні утворення є досить рідкісним геологічним явищем. Вивчені строматоліти за класифікацією, в основу якої покладено принципи ботанічної номенклатури, повинні бути віднесені до класу стріолітів [11]. В дану групу об'єднано строматолітофітини (розглядаються у ранзі підряду) первинно кременистого складу. Термін "стріоліт" вперше використав М. Уолтер для водоростево-бакте-

ріальних кременистих споруд з термальних джерел та гейзерів національного парку Йеллоустоун (США) [18]. Подібні утворення досить поширені в докембрійських відкладах Канади, Австралії, Китаю, Карелії та інших регіонів [18]. Відомі також стріоліти, приурочені до напрочуд глибоководних океанічних областей (наприклад, споруди в зоні дії "чорних курців") [18]. Як буде показано нижче, опираючись на результати проведених досліджень, можемо стверджувати, що строматоліти первинно кременистого складу можуть утворюватися не тільки в зоні розвантаження гідротерм.

Розглянемо вивчені споруди. Пластові строматоліти (Рис. 3, фіг. 6, 8) поширені у верхах шару № 4. В найвищій його частині спостерігається досить потужна

пластова строматолітова споруда товщиною 0,15-0,25 м і протяжністю як мінімум 6 км (місцезнаходження № 1 – крайня західна точка, де зафіксовано цей шар, а № 5 – східна). Нижче неї пластові строматоліти мають скромніші габарити – протяжність до перших сотень метрів, частіше десятки метрів, при потужності декілька сантиметрів. В деяких місцях (місцезнаходження № 12), згадана строматолітова споруда, судячи з усього, розщеплюється на декілька пластових строматолітів. Верхня поверхня пластових строматолітів горбаста та гребінчаста.

Нодулевидні строматоліти представляють собою еліпсоїдальні та округлі в перпендикулярному перетині тіла (Рис. 3, фіг. 4-6, 9; рис. 4). Загальна їх форма – бульбоподібна, субсферична, куполовидна, інколи лінзовидна. Розміри: діаметр 3-30 см, висота 1-20 см.

Стовпчасті не гіллясті строматоліти (Рис. 3, фіг. 2, 3; рис. 4) поширені у верхній третині шару № 4. Вони мають форму високих тупоконічних споруд, "веж" з округлою вершиною та ін. Поперечний перетин їх округлий. Стінки немає. В їх основі, як правило, залягає пластовий строматоліт.

Пластово-стовпчасті строматоліти (Рис. 3, фіг. 12; рис. 4) можна описати як поєднання двох пластових строматолітів з тонкою перетинкою у вигляді стовпчастої строматолітової споруди. Висота їх – 8-30 см. Виникнення такого типу споруд може бути пов'язане з характером динаміки водного середовища. Як відомо, різні типи строматолітів формуються за конкретної активності водної маси [9,18]. Утворення пластово-стовпчастих строматолітів могло бути викликане різкою зміною гідродинамічних умов. Споруди описаної форми зустрічаються групами на одному рівні в товщі вапняку.

В деяких частинах шару № 4 знайдено утворення, схожі на онколіти (Рис. 3, фіг. 7). Вони сферичної форми, мають невеликі розміри (до 2 см) та чітку концентричну структуру; зустрічаються у вапняку G2 дуже рідко. Відзначимо, що дані утворення можуть також бути горизонтальними зламами невеликих стовпчастих строматолітів.

На верхній поверхні серцевини деяких жовноподібних строматолітів та на бокових сторонах стовпчастих спостерігаються невеликі "кишені" та виїмки (Рис. 3, фіг. 2, 9), природа яких не з'ясована.

Строматолітові споруди поширені у товщі вапняку наступним чином. В самому низу шару № 4 знайдені лише невеликі нодулевидні строматоліти. Вище з'являються невитримані по простяганню пластові та невисокі стовпчасті та пластово-стовпчасті строматоліти. В найвищій частині шару, як вже вказувалося, спостерігається витримана як мінімум на 6 км пластова строматолітова споруда (по суті – строматолітовий біостром), потужністю 0,15-0,25 м. Ще вище спостерігається шар чорних силіцитів, інтерпретованих нами також як строматолітовий біостром. В цілому, слід відмітити, що строматоліти на найкращих відслоненнях вапняку (місцезнаходження № 12 та 10) переважно сконцентровані в три прошарки, найвищим з яких є вже згадана витримана на кілометри пластова строматолітова споруда.

Обговорення результатів. Сучасні ціанобактерії існують в морських та прісних басейнах на глибинах до 150 м (переважно 0-20 м), займаючи при цьому найбільш непридатні для життя екологічні ніші. Вони можуть переносити екстремальні температури, значну солоність та, навпаки, опрісненість вод. Деякі ціанобактерії живуть у ґрунті [10, 16, 18].

Строматоліти, як правило, є індикаторами мілководних умов басейну, оскільки нормальний розвиток ціанобактерій можливий лише на невеликих глибинах [18]. На мілководність умов утворення вапняку G2 вказують також знаки хвиль, фрагментарність органічних залишків та ін. Таким чином, опираючись на дані літо- та біофаціального аналізу, можемо стверджувати, що описані нами строматоліти утворилися в умовах верхньої частини субліторалі – за гарної аерації вод, на глибинах до 20 м.

Широкий розвиток строматолітових споруд у вапняку G2 різко контрастує з майже повною відсутністю в ньому коралів (в результаті тривалих багаточасових пошуків, нами знайдено залишки всього шести екземплярів ругоз). Це свідчить про несприятливі умови існування коралової фауни. Найвірогіднішою причиною, що зробила майже неможливим розвиток коралів була, як ми гадаємо, нестійка солоність води. Додатково на це вказує приуроченість більшості сучасних строматолітів саме до водойм з порушеним сольовим режимом [16], а також присутність беззамкових брахіопод і збіднений комплекс нормально-морської фауни: замкових брахіопод, цефалопод та криноїдів.

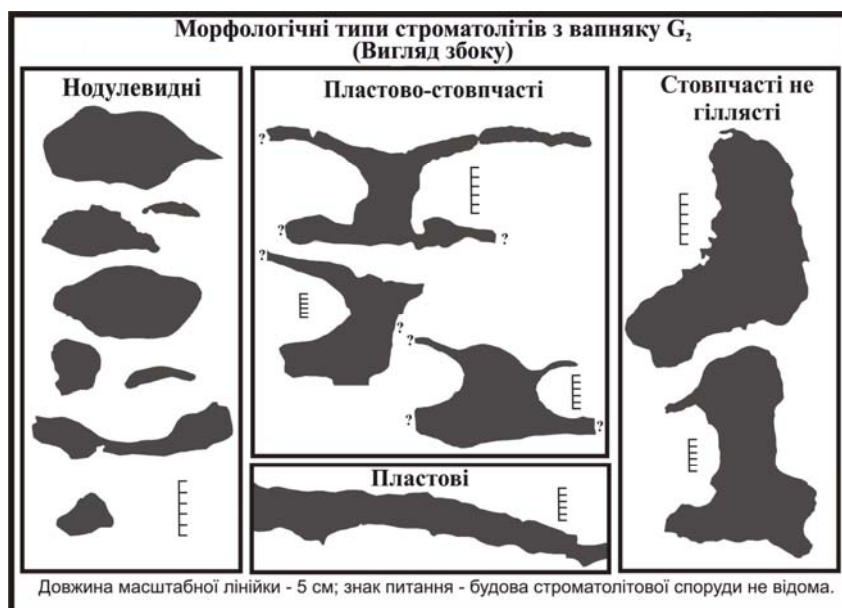


Рис. 4. Морфотипи строматолітів

За даними академіка М.М. Страхова [17], для біогенного осадження кремнезему з морської води, потрібно аби його концентрація була значно більшою рівня насичення (100-120 мг/л). Виникає закономірне питання: де джерело кремнезему, що складає строматоліти? Слід відкинути гідротерми як потенційних поставників кремнезему, так як будь-яких слідів їх дії не виявлено. Апвелінг як механізм збагачення вод SiO_2 неприйнятний, оскільки ряд характерних рис, притаманних відкладам, що утворилися таких умовах (багатство біоценозів і, відповідно, ориктоценозів, збагаченість осадів органічною речовиною та ін.), у вапняку відсутні. Відомо, що кількість кремнезему в прісних водах сучасних водойм значно вище, ніж в морських (10-20 мг/л проти 0,5-2 мг/л) [1, 3, 17]. Залишається припустити, що частина палеоакваторії, де присутні кременісті строматоліти, відчувала періодичне значне, проте локальне, опріснення за рахунок проникнення великих об'ємів прісної води в морський басейн. Це відбувалося, можливо, на фоні порівняно значного випаровування. В результаті дії цих процесів вміст розчиненого кремнезему у водах різко підвищувався. Згодом, коли фактор опріснення вод припиняв діяти або/та концентрація кремнезему в воді падала за рахунок його зв'язування в строматолітових спорудах, ціанобактерії вже були не здатні осаджувати SiO_2 і ріст строматолітів закінчувався. Таким чином, в результаті трансгресії, яка, внаслідок коливального характеру тектонічних рухів, розгорталась стрибкоподібно (етапи її розвитку чітко фіксуються прошарками строматолітових споруд, які маркують короточасні перерви в седиментації), виникли умови, коли під час відносного затухання низхідних рухів, з прилягаючої суші постачалися великі об'єми прісних вод. Важливим фактором розвитку ціанобактеріальних матів було уповільнення темпів накопичення осадів. В зв'язку з цим спостереженням, слід зазначити, що в районах з більш глибоководними умовами накопичення осадів і більш низькими швидкостями седиментації, розташованими на південь та південний схід від території досліджень, у вапняку G2 та породах, що його заміщують, судячи з усього, слід очікувати присутність прихованих короточасних перерв.

Особливості вертикального розповсюдження строматолітів, а саме переважне їх групування в три прошарки, може свідчити про три епізоди суттєвого опріснення вод, пов'язаних з ритмічністю невідомої тривалості. Характер поширення строматолітів конкретних морфотипів в розрізі можна пояснити поступовим розгортанням умов, сприятливих для розвитку ціанобактеріальних спільнот. Часта відсутність чіткої мікроструктури в строматолітах нижньої частини шару № 4 також свідчить про мало сприятливі умови існування ціанобактеріальних спільнот під час накопичення осадів вказаної частини вапняку. Поступовий контакт між шарами вапняку свідчить про поступовий характер зміни умов накопичення осадів. Чорні силіцити шару № 5, очевидно, відповідають кульмінаційному моменту трансгресії і відображають найзначніше опріснення води. Вони є дуже витриманими по площі і відзначені нами майже на всіх вивчених місцезнаходженнях (окрім № 9 та частково 12). Описаний шар, є нічим іншим, як строматолітовим біостромом, що лише місцями зберіг чітку мікроструктуру. Кременістий пісковик, що перекриває вапняк вже знаменує початок регресії, причому кременістість та особливості фауни (переважання в ориктоценозі евригаліних беззамкових брахіопод та хонетид) свідчать також про понижену солоність вод басейну.

Вважається, що виникнення характерної шаруватої мікроструктури строматолітів пов'язане з фактором се-

зонності [5, 12]. Таким чином, приймаючи дане твердження, можемо припустити, що світлі шари строматолітів формувалися в умовах досить значної кількості опадів під час сезону дощів, а темні – протягом відносно сухої пори року.

Висновки. В результаті проведених досліджень вивчено кременісті строматоліти у вапняку G2 моспінської світи Донбасу. Умовами, що спровокували утворення строматолітів були: зменшення активності водної маси, уповільнення темпів седиментації, а також епізоди короточасного опріснення морських вод, що розвинулися на фоні прогресуючої трансгресії.

Зважаючи на велике науково-просвітницьке значення та унікальність вивчених строматолітів, ми вважаємо, що відслонення вапняку G2 заслуговує набуття статусу природоохоронного об'єкту. В його якості можуть бути виділені місцезнаходження № 12. Крім того, на нашу думку, цікаво було б дослідити вищеописані біогенні споруди з допомогою СЕМ, так як саме кременісті строматоліти, завдяки дуже швидким темпам мінералізації ціанобактеріальних матів, дозволяють отримати для вивчення залишки цінної унікальної збереженості [4, 8, 19].

Подяки. В ході польових досліджень та при підготовці даної роботи значну допомогу надав канд. геол.-мін. наук М.І. Удовиченко (Луганськ), за що я йому щиро вдячний. За критичні зауваження щодо результатів дослідження та тексту статті дякую докт. геол. наук В.В. Огару (Київ).

Список використаних джерел

1. Айлер Р. Химия кремнезема. Т. 2. / Р. Айлер – М.: Мир, 1982. – 712 с.
2. Берченко О.И. О фацциальной приуроченности известковых водорослей в турнейских отложениях Донбасса / О.И. Берченко // Геологический журнал. – 1976. – Т. 36. – Вып. 5. – С. 96-104.
3. Волохин Ю.Б. Мезозойское и кайнозойское кремненаконение в окраинных бассейнах Востока Азии / Ю.Б. Волохин. – Владивосток: Дальнаука, 2013. – 434 с.
4. Гордова В.С. Основы биосилификации (обзор литературы) / В.С. Гордова, С.П. Сапожников, В.Е. Сергеева, П.Б. Карышев // Вестн. Чувашского ун-та. – 2013. – № 3. – С. 401-409.
5. Крылов И.Н. На заре жизни / И.Н. Крылов. – М.: Наука, 1972. – 106 с.
6. Крылов И.Н. Строматолиты рифа и фанерозоя СССР / И.Н. Крылов. – М.: Наука, 1975. – 245 с.
7. Крылов И.Н. Строматолиты (природа и принципы классификации) / И.Н. Крылов // Известковые водоросли и строматолиты. Систематика, биостратиграфия, фацциальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 132-140.
8. Крылов И.Н. Окременение: вечные препараты / И.Н. Крылов, В.К. Орлеанский, Н.С. Тихомирова // Природа. – 1989. – № 4. – С. 73-78.
9. Литвинова Т.В. Взаимодействие биотических и абиотических событий в процессе формирования строматолитовых рифов / Т.В. Литвинова // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. – 2014. – № 3. – С. 154-160.
10. Лучинина В.А. Синезеленые водоросли (Cyanobacteria) / В.А. Лучинина // Ископаемые известковые водоросли. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 12-38.
11. Макарихин В.В. Классификация фитогенных построек / В.В. Макарихин, П.В. Медведев // Проблемы систематики и эволюции органического мира. Тез. докл. XLIII сессии ВПО. – 1997. – С. 42-43.
12. Маслов В.П. Строматолиты (их генезис, метод изучения, связь с фациями и геологическое значение на примере ордовика Сибирской платформы) / В.П. Маслов. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – 188 с.
13. Орлеанский В.К. Строматолиты – живые буквы каменной летописи Земли / В.К. Орлеанский, М.Е. Раабен // Природа. – 1998. – № 11. – С. 68-85.
14. Полетаев В.И. Стратотипы региональных стратиграфических подразделов карбону и нижней перми Дно-Дніпровського прогину / В.И. Полетаев, М.В. Вдовенко, О.К. Щоголев та ін. – К.: Логос, 2011. – 236 с.
15. Полякова В.Е. Влияние абиотических и биотических факторов на состав и облик позднепермских кораллов Донецкого бассейна / В.Е. Полякова // Палеонтология и реконструкция геологической истории палеобассейнов. – Л.: Наука, 1987. – С. 83-88.
16. Раабен М.Е. Строматолиты / М.Е. Раабен // Бактериальная палеонтология. – М.: ПИН РАН, 2002. – С. 52-58.
17. Страхов Н.М. О некоторых вопросах геохимии кремнезема / Н.М. Страхов // Геохимия кремнезема. – М.: Наука, 1966. – С. 5-8.
18. Титоренко Т.Н. Палеонтология докембрия. Фитолиты (строматолиты и микрофитолиты) / Т.Н. Титоренко, С.А. Анисимова, А.Ю. Анисимов – Иркутск: Изд. ИГУ. – 2012. – 117 с.

19. Ушатинская Г.Т. Процесс окремнения / Г.Т. Ушатинская // Бактериальная палеонтология. – М.: ПИН РАН, 2002. – С. 66-67.
20. Строматолиты и онколиты девона, карбона и перми / Б.И. Чувашов // Известковые водоросли и строматолиты. Систематика, биостратиграфия, фациальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 158-174.
21. Ogar V.V. Carboniferous buildups in the Donets Basin (Ukraine) / V.V. Ogar // *Geologica Belgica*. – 2012. – Vol. 15. – No. 4. – P. 340-349.

References

- Ailer, R. (1982). The chemistry of silica. Moscow, Mir, 712 p. [in Russian].
- Berchenko, O.I. (1976). On facies attachment of calcareous algae in the Tournaisian sediments of Donets Basin. *Journal of Geology*, 36 (5), 96-104. [in Russian].
- Volohin, Yu.B. (2013). Mesozoic and Cenozoic silica accumulation in marginal basins of East Asia. Vladivostok, Dal'nauka, 434 p. [in Russian].
- Gordova, V.S., Sapozhnikov, S.P., Sergeeva, V.E., Karyshev, P.B. (2013). The basics of biosilicification (literature review). *Bulletin of Chuvash State University*, 3, 401-409. [in Russian].
- Krylov, I.N. (1972). At the dawn of life. Moscow, Nauka, 106 p. [in Russian].
- Krylov, I.N. (1975). Stromatolites of Riphean and Phanerozoic of the USSR. Moscow, Nauka, 245 p. [in Russian].
- Krylov, I.N. (1988). Stromatolites (the nature and classification principles). *Calcareous algae and stromatolites. Systematics, biostratigraphy, facies analysis*. Novosibirsk, Nauka, 132-140. [in Russian].
- Krylov, I.N., Orleanskij, V.K., Tihomirova, N.S. (1989). Silicification: timeless preparations. *Priroda*, 4, 73-78. [in Russian].
- Litvinova, T.V. (2014). Interaction of biotic and abiotic events in the formation of stromatolitic reefs. Development of Life during abiotic changes in the Earth, 3, 154-160. [in Russian].
- Luchinina, V.A. (1987). Blue-green algae (Cyanobacteria). Fossil calcareous algae, Novosibirsk, Nauka, 12-38. [in Russian].

- Makarihin, V.V., Medvedev, P.V. (1997). Classification of phytogenic buildings. The problems of systematics and evolution of the organic world. Abstracts of XLIII session of Russian Paleontological Society, 1997, 42-43. [in Russian].
- Maslov, V.P. (1960). Stromatolites (their genesis, studying method, link with facies and geological importance of the example of the Ordovician of the Siberian Platform). Moscow, Ed. of USSR AS, 188 p. [in Russian].
- Orleanskij, V.K., Raaben, M.E. (1998). Stromatolites – the living letters of the Earth stone chronicles. *Priroda*, 11, 68-85. [in Russian].
- Polietaiiev, V.I., Vdovenko, M.V., Shchokoliev, O.K., Boiarina, N.I., Makarov, I.A. (2011). Stratotypes of regional stratigraphic units of Carboniferous and Lower Permian of Don-Dnieper trough. Kyiv, Logos, 236 p. [in Ukrainian].
- Polyakova, V.E. (1987). The influence of abiotic and biotic factors on the composition and external view of Late Serpukhovian corals of Donetsk Basin. Paleontology and reconstruction geological history of ancient basins, Leningrad, Nauka, 83-88. [in Russian].
- Raaben, M.E. (2002). Stromatolites. Bacterial palaeontology. Moscow, Paleontological Institute of RAS, 52-58. [in Russian].
- Strahov, N.M. (1966). On some questions of silica geochemistry. *Geochemistry of silica*, Moscow, Nauka, 5-8. [in Russian].
- Titorenko, T.N., Anisimova, S.A., Anisimov, A.Yu. (2012). Precambrian paleontology. Phytoliths (stromatolites and microphytolites). Irkutsk, Ed. University of Irkutsk, 117 p. [in Russian].
- Ushatinskaja, G.T. (2002). The process of silicification. Bacterial palaeontology. Moscow, Paleontological Institute of RAS, 66-67. [in Russian].
- Chuvashov, B.I. (1988). Stromatolites and oncolites of Devonian, Carboniferous and Permian. *Calcareous algae and stromatolites. Systematics, biostratigraphy, facies analysis*. Novosibirsk, Nauka, 158-174. [in Russian].
- Ogar, V.V. (2012). Carboniferous buildups in the Donets Basin (Ukraine). *Geologica Belgica*, 15 (4), 340-349. <http://popups.ulg.ac.be/1374-8505/index.php?id=3821>

Надійшла до редколегії 25.10.16

V. Dernov, Master of geography, Teacher

E-mail: slavianin2013@mail.ru

School of Makedonivka, Yuvileyna Str., Makedonivka village, Luhans'k Region, 92033, Ukraine

STROMATOLITES FROM BASHKIRIAN DEPOSITS OF DONETS BASIN

The paper is dedicated to the research of unique siliceous stromatolites from limestone G2 (Mospins'ka suite, Upper Bashkirian) of Donets Basin. These biogenic structures exhibit four (lamellar, hemispheroidal, not branching columnar and stratified columnar) morphotypes. In addition, supposedly, small oncolites were identified. According to principles of botanical nomenclature classification, stromatolites must be classified as stiriolites. Stromatolites of primarily siliceous composition form a distinctive group.

Stromatolites, as a rule, are indicators of the shallow basin conditions, as the normal development of cyanobacteria is only possible in shallow bodies of water. Numerous lithofacies indicate shallow water formation conditions of limestone G2. Thus, the examined stromatolites were formed on the upper part of the subtidal zone – with good aeration of waters, at depths up to 20m or less. The extensive development of stromatolites in limestone stands in stark contrast to the almost complete absence of corals in it. This fact indicates an unstable salinity.

Part of paleo water area, where siliceous stromatolites are found, had great but local desalination due to the penetration of large amounts of fresh water in the saltwater sea basin. It must have taken place because of significant evaporation. As a result of these processes, concentration of dissolved silica in water sharply increased. Later, when the factor of desalination of water ceased to operate and/or the concentration of silica in the water fell by its binding in the stromatolite structures, cyanobacteria were not able to precipitate SiO₂ and stromatolites growth stopped.

The origin of the lamellar microstructure of stromatolites is due to seasonal factor: light layers stromatolites were formed under the conditions of sufficiently large amount of precipitation during the rainy season, and the dark ones – in relatively dry seasons.

Taking into account large scientific and educational value and uniqueness of examined stromatolites, we think, that some of the outcrops of limestone G2 must acquire status of environmentally protected sites.

Keywords: stromatolites, Carboniferous deposits, Donets Basin.

V. Дернов, магистр географии, учитель

E-mail: slavianin2013@mail.ru

Македоновский учебно-воспитательный комплекс, ул. Юбилейная, с. Македоновка, Луганская область, 92033, Украина

СТРОМАТОЛИТЫ ИЗ БАШКИРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНЕЦКОГО БАСЕЙНА

Изучены уникальные кремнистые строматолиты из известняка G2 моспинской свиты верхнего башкира Донбасса. Среди них выделено четыре морфотипа: пластовый, желваковидный, столбчатый не ветвистый и пластово-столбчатый. Кроме того, установлены предположительно небольшие онколиты. Изученные строматолиты по классификации, основанной на принципах ботанической номенклатуры, должны быть отнесены к классу стиролитов. В данную группу объединены строматолиты преимущественно кремнистого состава.

Строматолиты, как правило, являются индикаторами мелководных условий бассейна, поскольку нормальное развитие цианобактерий возможно только на небольших глубинах. На мелководность условий образования известняка G2 указывают также многочисленные лито- и биофацальные сведения. Таким образом, изученные строматолиты образовались в условиях верхней части сублиторали – при хорошей аэрации вод, на глубинах до 20 м. Широкое развитие строматолитов в известняке резко контрастирует с практически полным отсутствием в нем кораллов. Этот факт свидетельствует о нестабильной солёности воды.

Часть палеоакватории, где присутствуют кремнистые строматолиты, ощущала значительное, но локальное опреснение за счет проникновения больших объемов пресной воды в морской бассейн. Это происходило, возможно, на фоне значительного испарения. В результате действия этих процессов содержание растворенного кремнезема в водах резко возрастало. В дальнейшем, когда фактор опреснения вод прекращал действовать и/или концентрация кремнезема в воде падала за счет его связывания в строматолитовых сооружениях, цианобактерии уже были не способны осаживать SiO₂ и рост строматолитов прекращался.

Возникновение характерной слоистой микроструктуры строматолитов связано с фактором сезонности: светлые слои формировались в условиях достаточно большого количества осадков во время дождливого сезона, а темные – на протяжении относительно сухого времени года.

Ввиду большого научно-просветительского значения и уникальности изученных строматолитов, мы считаем, что некоторые обнажения известняка G2 заслуживают статуса природоохранного объектов.

Ключевые слова: строматолиты, каменноугольные отложения, Донецкий бассейн.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК: 553.98

І. Багрій, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: bagrid@ukr.net

Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара 55-б, м. Київ, 01054, Україна,

О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.

E-mail: alexbrig@inbox.ru,

А. Куліш, асп.

E-mail: kulish.andrii@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна,

В. Глонь, асп.

E-mail: vitaliyglon@gmail.com

Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара 55-б, м. Київ, 01054, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ГЕОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ
ДЛЯ УТОЧНЕННЯ БУДОВИ РОДОВИЩ НАФТИ І ГАЗУ*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Гулієм)*

Приповерхневі геохімічні методи пошуків нафти і газу є малозатратними і експресними. Авторами розроблено передумови використання даних приповерхневої геохімічної розвідки для уточнення геологічної будови родовищ вуглеводнів. Розробка нових підходів до інтерпретації даних приповерхневих геохімічних методів дозволить більш ефективно проводити пошуково-розвідувальні роботи в межах родовищ вуглеводнів і перспективних ділянок. Також дані підходи можна буде використовувати у комплексі з геологічними, геофізичними, геохімічними і промисловими методами для покращення якості отриманих результатів. Методика даної роботи полягає в з'ясуванні залежностей між глибинними геологічними параметрами перспективної ділянки і даними газометричної зйомки біля поверхні Землі, що в результаті допоможе отримати нові підходи до інтерпретації геохімічних аномалій.

Для дослідження використано геологічну інформацію Недільної структури, що розташована в межах північного борту Дніпровсько-Донецької западини. Вона являє собою вузьку антикліналь, що ускладнена повздовжними і поперечними розломами. В її межах пробурено п'ять свердловин, в двох з яких було отримано промисловий приплив газу. Ділянка була вивчена традиційними нафтогазопішуковими методами, в тому числі і геофізичними дослідженнями свердловин. Також використано дані методу геолого-структурно-термо-атмосферно-геохімічних досліджень (СТАГД), що являє собою комплексну технологію для пошуку родовищ нафти і газу. Проведено аналіз геологічних і геохімічних даних для виявлення зон з дихаючими і екрануючими розломами. Для цього використано структурні карти даної ділянки з нанесеними розривними порушеннями і дані по вмісту вуглеводневих і неуглеводневих газів біля поверхні Землі. На основі проінтерпретованих даних усі розломи було поділено на екрануючі та провідні. Дослідження проведені з використанням концентрацій різних газів дали схожі результати. Для пошуку тектонічно-екранованих покладів дані про провідність розломів були співставлені з результатами газометричної зйомки по метану.

Наукова новизна роботи полягає в розробці передумов використання приповерхневих геохімічних показників в комплексі з геологічними параметрами для отримання додаткової інформації про нафтогазові родовища, зокрема про типи розломів та наявність тектонічно-екранованих покладів. Результати досліджень можна використовувати при пошуках нафти і газу, як допоміжний інструмент, що дозволяє визначати особливості будови родовищ вуглеводнів.

Ключові слова: приповерхнева геохімічна розвідка, СТАГД, Недільна структура, типи розломів, тектонічно-екрановані поклади.

Вступ. Мета даної роботи полягає у визначенні ролі приповерхневих геохімічних методів при пошуках, розвідці і уточненні будови родовищ вуглеводнів та з'ясуванні залежності між глибинними параметрами родовищ і поверхневими геохімічними показниками. Об'єктом досліджень є Недільна структура північного борту ДДЗ, на якій було вивчено геологічну будову та проведені приповерхневі геохімічні дослідження.

Актуальність теми полягає у потребі прирощення власних запасів вуглеводнів, використовуючи малозатратні, легкодоступні і експресні методи. Питаннями приповерхневої геохімічної розвідки займалися вітчизняні і закордонні спеціалісти І.Д. Багрій, В.А. Соколов, П.Ф. Гожик, Л.М. Зорькін, Ю.І. Коробков, П.Н. Кропоткін, Д. Шумахер, М. Лейборн, Б. Бернард, А. Абрамс та інші [1-6]. Ними були розроблені теоретичні основи формування геохімічних аномалій над родовищами вуглеводнів. Згідно з запропонованою гіпотезою, в земній корі відбувається постійне просточування газів до поверхні Землі, в основному за рахунок зміни тисків з глибиною, в тому числі і над родовищами вуглеводнів. Таким чином, результати вимірювання концентрації газів глибинного походження біля поверхні Землі дозволяють отримати корисну інформацію про вуглеводневі родовища, зокрема наявність розломів і територіальне розміщення покладів. Незважаючи на це, не було досліджено можливість використання газометричної

зйомки разом з геологічними параметрами для уточнення будови родовищ вуглеводнів. В статті розглянуто передумови використання даних приповерхневої геохімічної розвідки для уточнення геологічної будови нафтогазових родовищ.

Виклад основного матеріалу. Приповерхневі геохімічні методи пошуків нафти і газу – це прямі методи пошуків вуглеводнів, вони є малозатратними і експресними. Застосування приповерхневих геохімічних методів для пошуків нафти і газу показує позитивні результати [6], хоча іноді трапляються невдачі. Ці методи дозволяють картувати геохімічні аномалії по підвищеному вмісту метану та інших газоподібних компонентів. Аномалії виникають внаслідок просочування газів з нижче-залегаючих порід до поверхні в підземні води, приповерхневий шар ґрунту та навіть в атмосферу. Міграція відбувається по проникних зонах і має в основному вертикальне спрямування. Тим не менше, аномалії можуть бути зміщені латерально під впливом певних геологічних чинників. В додаток до цього, величина концентрації газів у ґрунті залежить не тільки від кількості покладів, ефективної потужності, об'єму колекторів і глибини їх залягання, а й від тектонічної активності над родовищем. Про наявність вуглеводневих покладів може свідчити підвищена концентрація як вуглеводнів, так і інших газів, накопичення яких пов'язане з геологічними процесами, які відбуваються поблизу покладів.

Виділяються два типи просочування: активне і пасивне [6]. Активне просочування відбувається в місцях з високою проникністю, де значні маси газів мігрують на поверхню. Зони їх фільтрації можна визначити за допомогою сейсмічних методів, так як пружні хвилі рухаються там повільніше. Зони, де гази рухаються значно повільніше, характеризуються пасивним просочуванням. Швидкість руху і кількість газів в цих зонах значно менша. Більш інтенсивні геохімічні аномалії спостерігаються саме над активними розломами, менші – прямо

над покладами. Це вказує на те, що дифузія по розломах займає головне місце при міграції газів на поверхню (Рис. 1). Було встановлено, що обидва типи міграції – горизонтальна і вертикальна, мають місце. Переважає саме вертикальна міграція, через те, що зміна тисків з глибиною відбувається у вертикальному напрямку. Горизонтальна міграція відбувається при просочуванні вуглеводнів по нахиленим розломам і біля поверхні, внаслідок руху підземних вод.

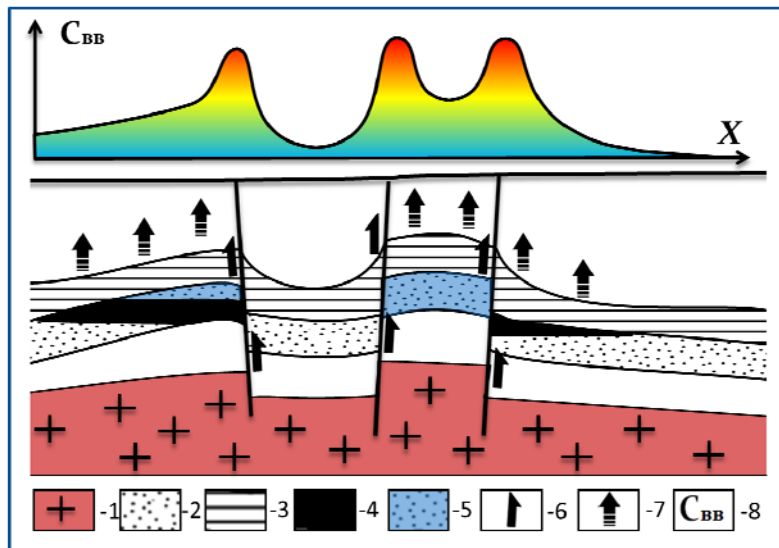


Рис. 1. Схема формування геохімічних аномалій над покладами вуглеводнів (склав А.П. Куліш):
 1 – кристалічний фундамент; 2 – водонасичений колектор; 3 – флюїдопор; 4 – нафтонасичений колектор;
 5 – газонасичений колектор; 6 – активне просочування; 7 – пасивне просочування;
 8 – рафік концентрації вуглеводнів на поверхні Землі

Існування процесу просочування підтверджується багатьма фактами, зокрема підвищеним вмістом вуглеводнів над родовищами нафти і газу, різкі зміни в концентрації по латералі біля контурів родовищ, однакове відношення ізотопів карбону в приповерхневих зразках газів і в тих, що були відібрані на родовищі, зменшення концентрації вуглеводневих газів над родовищами при їх виснаженні. Аномалії можуть виражатись в різних формах: високі концентрації газів у відкладах, ґрунті, воді, атмосфері; мікробіологічні аномалії; підвищений вміст гелію і радону; утворення нових мінералів; геотермальні аномалії. Форма і розміщення аномалій часто не співпадають з нижчезалягаючими родовищами, тому потрібно з уважністю підходити до інтерпретації геохімічних даних. Для зменшення ризиків при розвідці також використовують структурні, геофізичні, термометричні, геоморфологічні та інші дані.

Способи уточнення будови родовищ вуглеводнів. В даному аспекті доцільно використовувати комплексні методики для пошуку нафти і газу. Однією із найбільш ефективних є технологія геолого-структурно-термоатмогеохімічних досліджень (СТАГД). Вона являє собою систему методів, принципів, критеріїв, що пояснюють процеси формування, концентрації, закономірності розподілу вуглеводнів в осадовому чохла, вирішують проблеми прогнозування пошуків, розвідки та розробки вуглеводневих родовищ на суходолі та в акваторіях морів. Основними функціональними складовими технології є термо-атмогеохімічні полігонні дослідження, що включають геотермічні, радіометричні та газогеохімічні (за вільними вуглеводнями – метан, етан, пропан, бутан, ізобутан, етилен, пропілен, а також – радон, торон, гелій, водень, вуглекислий газ) дослідження, побудову

структурно-тектонічних, стратиграфічних (сейсмолітофаціальних), седиментаційних моделей [2].

Для дослідження розподілу геохімічних параметрів на поверхні Землі було використано дані Недільної структури, що розташована на північному борті ДДЗ. Структура являє собою вузьку антикліналь, ускладнену поперечними і повздовжніми розломами. В її межах пробурено 5 свердловин, дві з яких дали промисловий приплив газу (Рис. 2). Вона знаходиться на північ від Скворцівського родовища, на якому встановлені продуктивні горизонти у башкирському ярусі середнього карбону, верхньосерпуховському під'ярусі і візейському ярусі нижнього карбону, а також корі вивітрювання порід кристалічного фундаменту. За даними ГДС виділено перспективні у нафтогазонасному відношенні пласти башкирського ярусу (горизонти Б-2, Б-3-4-5) загальною ефективною газонасиченою товщиною 7,6 м з пористістю 15-20 %, газонасиченістю 50-72 %. Ділянка навколо структури була досліджена за допомогою технології СТАГД [1]. Комплекс досліджень включає вимірювання концентрації вуглеводневих та неуглеводневих газів поблизу поверхні Землі. Серед цих газів було визначено вміст радону та метану, що є важливими індикаторами при пошуках вуглеводнів.

Було проведено аналіз геологічних і геохімічних [1] даних для виявлення зон з дихаючими і екрануючими розломами, а також для пошуку тектонічно-екранованих покладів. Використано геологічну інформацію, зокрема структурні карти різних горизонтів з нанесеними на них розривними порушеннями, що були складені на основі даних сейсморозвідки та буріння. Серед геохімічних показників було обрано вміст метану та радону, як найбільш летких компонентів, що утворюють чітко виражені аномалії.

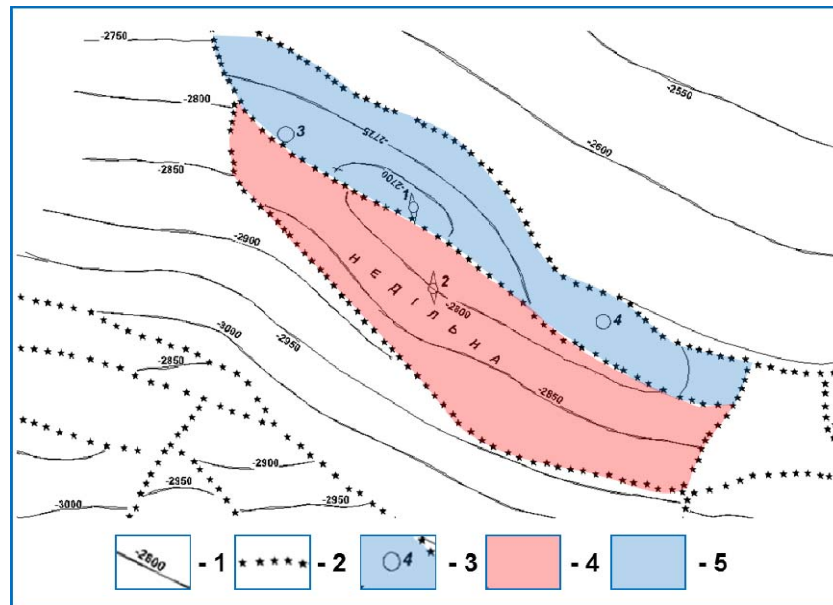


Рис. 2. Структурна карта поверхні C1v2, Недільна структура (склав А.П. Куліш):
1 – стратоізогіпси; 2 – розломи; 3 – пробурені свердловини; 4 – південно-західний опущений блок;
5 – північно-східний піднятий блок

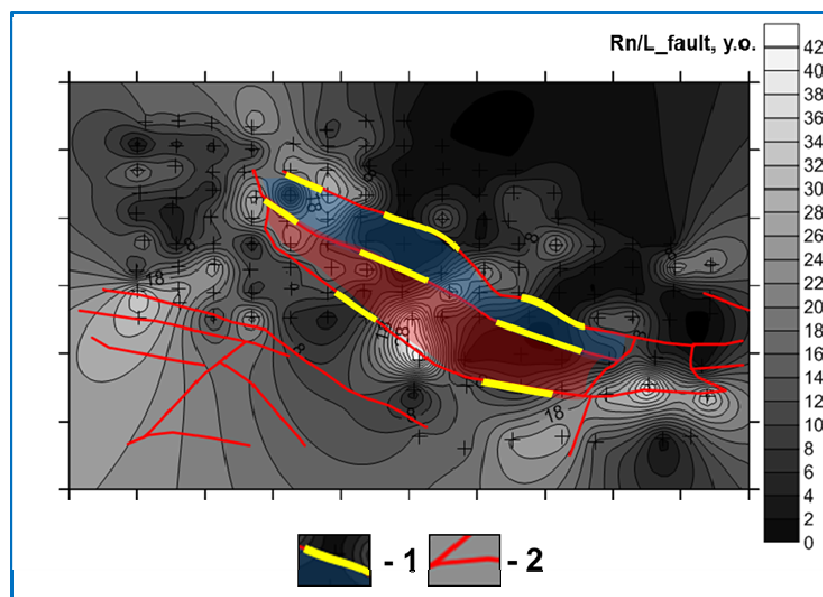


Рис. 3. Карта-схема розподілу відношення вмісту радону до відстані до розломів з виділеними провідними розломами (склав В.А. Глонь):
1 – ділянки з провідними розломами, 2 – розломи

Для підсилення аномалій радону, що має глибинне походження, карта з головними розломами була спроектована на денну поверхню і в кожному пікеті визначено горизонтальну відстань до найближчого розлому. Для коректності подальших розрахунків до визначеної відстані було додано одиницю і отримано параметр L_{fault} . На основі цих даних було побудовано карту відношення вмісту радону (R_n) до відстані до розломів (R_n/L_{fault}), що показує зони активного просочування глибинних газів. Після накладення на неї карти головних розломів, було зроблено висновки про провідність розривних порушень в межах досліджуваної ділянки. Розломи, що потрапляють в зони з підвищеними значеннями параметра, можна інтерпретувати як дихаючі, решта розломів, що не знаходяться в аномальних зонах, – екрануючі (Рис. 3). До-

слідження було повторене з використанням даних про вміст метану в приповерхневих шарах. Як і у варіанті з радоном, усі розломи були віднесені до провідних, або екрануючих. В результаті було отримано аналогічні висновки щодо типу розломів за метаном і радоном.

Для пошуку тектонічно-екранованих покладів були використані дані про провідність розломів і вміст метану в приповерхневих шарах. В межах структури виділено зони, які відповідають двом умовам: слабкі або середні значення концентрації метану та наявність екрануючих розломів, що прилягають до цих зон. Для цього, на основі даних випробування свердловин, шляхом підбору були відібрані два критерії, а саме $R_n/L_{\text{fault}} < 1,5$ і концентрація метану (CH_4) $> 5 \cdot 10^{-5}$, об.%. Кожному пікету, що відповідав цим умовам, було присвоєно

цифрове значення (n) 1, решті точок – 0. По цих даних побудовано карту-схему; на ній в межах структури було виділено зони, які відповідають обом критеріям. Шкала n показує ступінь відповідності критеріям тектонічно-екранованих покладів. В результаті проведених досліджень можна зробити припущення, що в межах виділе-

них ділянок існують тектонічно-екрановані поклади (Рис. 4). В цих зонах спостерігається вміст метану вищий за фонові значення, але нижчий ніж над провідними розломами. Це вказує на переважання пасивного просочування газів вхрест залягання гірських порід по шарах з низькою проникністю.

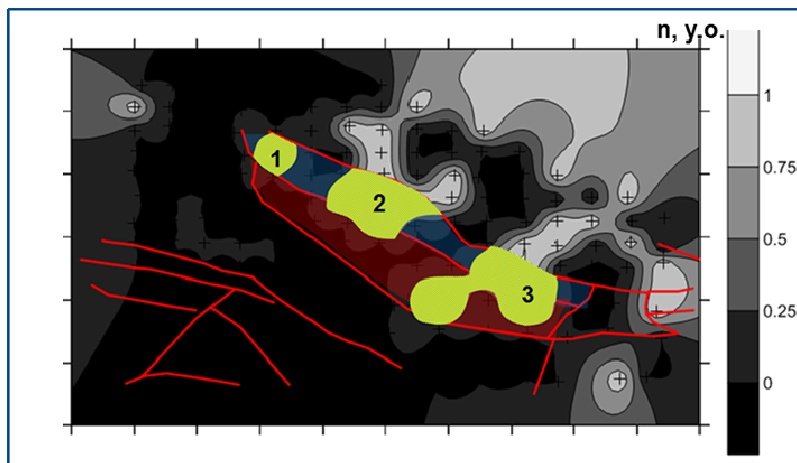


Рис. 4. Карта-схема наявності тектонічно-екранованих покладів в межах Недільної структури (склав В.А. Глонь): 1-3 – ділянки покладів тектонічно-екранованого типу

Висновки. Приповерхневі геохімічні методи можна ефективно використовувати при пошуках та розвідці родовищ вуглеводнів. Вони надають достовірну інформацію про наявність флюїдів в межах досліджуваних територій. Технологія СТАГД є одним з цих методів і дозволяє значно ширше вивчати перспективні ділянки. Розроблені передумови використання геохімічних методів дають підґрунтя для подальшого вивчення залежностей між приповерхневими геохімічними показниками і геологічними параметрами покладів. Встановлено, що шляхом інтерпретації даних геохімічних і геологічних досліджень можливо визначити типи розривних порушень в межах досліджуваної ділянки. Використовуючи цю інформацію і дані геохімічної зйомки, можна побудувати карту імовірного розміщення тектонічно-екранованих покладів – саме такі ділянки є найбільш перспективними для подальшого вивчення.

Список використаних джерел

1. Багрий І.Д. Ефективність прогнозування приповерхневими методами родовищ вуглеводнів (Дніпровсько-Донецький авлакоген, Північно-Скворцівська площа – структура Недільна) / І.Д. Багрий // Геофизический журнал. – 2010. – Т. 32, № 5. – С. 142-152.
2. Багрий І.Д. Розробка геолого-структурно-термо-атмогеохімічної технології прогнозування пошуків корисних копалин та оцінки геологічного стану докілья / І.Д. Багрий. – К.: Логос, 2013. – 511 с.
3. Abrams A.M. Surface sediment hydrocarbons as indicators of subsurface hydrocarbons: Field calibration of existing and new surface geochemistry methods in the Marco Polo area, Gulf of Mexico /

A.M. Abrams, F.N. Dahdah // AAPG Bulletin. – 2011. – № 95(11). – P. 1907-1935.

4. Jones V.T. Predictions of oil or gas potential by near surface geochemistry / V.T. Jones, R.J. Drozd // AAPG Bulletin. – 1983. – № 67(6). – P. 932-952.

5. Khattak N.U. Radon monitoring for geological exploration: a review / N.U. Khattak, A.M. Khan, A. Nawab, M.S. Abbas // Journal of Himalay a nEarth Sciences. – 2011. – № 44(2). – P. 91-102.

6. Schumacher D. Surface geochemical exploration for oil and gas: New life for an old technology / D. Schumacher // TheLeading Edge. – 2003. – № 22(3). – P. 258-261.

References

1. Bagriy I.D. (2010). Efektyvnist prognosuvannya prypoverhnevymymetodamy rodovysch vuglevodniv (Dniprovsko-Donetskiy avlakogen, Pivnichno-Skvortsivska ploscha – struktura Nedilna). Geofizicheskii zhurnal, 32, 5, 142-152. [in Ukrainian].
2. Bagriy I.D. (2013). Rozrobka geologo-strukturno-termo-atmogeohimichnoyi tehnologiyi prognosuvannya poshukiv korysnykh kopalyn ta otsinky geologichnogo stanu dovkillya. K.: Logos, 511 p. [in Ukrainian].
3. Abrams A.M., Dahdah F.N. (2011). Surface sediment hydrocarbons as indicators of subsurface hydrocarbons: Field calibration of existing and new surface geochemistry methods in the Marco Polo area, Gulf of Mexico. AAPG Bulletin, 95(11), 1907-1935.
4. Jones V.T., Drozd R.J. (1983). Predictions of oil or gas potential by near surface geochemistry. AAPG Bulletin, 67(6), 932-952.
5. Khattak N.U., Khan A.M., Nawab A., Abbas M.S. (2011). Radon monitoring for geological exploration: a review. Journal of Himalay a nEarth Sciences, 44(2), 91-102.
6. Schumacher D. (2003). Surface geochemical exploration for oil and gas: New life for an old technology. TheLeading Edge, 22(3), 258-261.

Надійшла до редколегії 09.02.17

I. Bagriy, Dr. Sci. (Geol.), senior researcher

E-mail: bagrid@ukr.net

Institute of geological sciences, NAS of Ukraine, 55-b, Gonchara Str., Kyiv, 01054 Ukraine,

O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: alexbrig@inbox.ru,

A. Kulish, PhD student

E-mail: kulish.andrii@gmail.com

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,

V. Glon, PhD student.

E-mail: vitaliyglon@gmail.com

Institute of geological sciences, NAS of Ukraine, 55-b, Gonchara Str., Kyiv, 01054 Ukraine

NEAR-SURFACE GEOCHEMICAL METHODS FOR PETROLEUM FIELDS' STRUCTURE ELABORATION

Near-surface geochemical exploration is a direct method of finding hydrocarbon deposits. It is low-cost and express-method determination. Developing of new approaches to data interpretation of subsurface geochemical exploration will allow to carry out exploration within the prospective sites more effectively. Also, these techniques can be used in combination with geological, geophysical, geochemical and production

methods to improve the quality of the results. Prerequisites using data with surface geochemical exploration were developed for refining geological structures of hydrocarbon deposits. The method of this study is to identify the relationships between the deep geological settings of prospective areas and gas recording survey near the Earth's surface. As a result, new approaches to the interpretation of geochemical anomalies will be developed.

Geological information was used for exploration of the Nedilna structure. The structure is located within the northern edge of the Dnieper-Donets depression. It is a narrow anticline that is complicated with longitudinal and transverse faults. Five wells were drilled; two of them were gas productive. The area was studied with traditional oil and gas methods, including geophysical well surveys. The results of structural-thermal-atmo-geochemical method were used; the survey is a complex technology for oil and gas prospecting. The analysis of geological and geochemical data was conducted in order to identify areas with conductive and screening faults. Structural maps of the area coated with faults and data of hydrocarbon and non-hydrocarbon gases content near the Earth's surface were used. Faults were divided into screening or conductive ones using interpreted data. The surveys which were conducted using concentrations of various gases gave similar results. The data of faults conductivity were compared with the results of the methane survey in order to determine tectonically-shielded deposits.

Scientific novelty of the research is that the preconditions of using surface geochemical indicators in conjunction with geological parameters for oil and gas fields' structure determination were developed. The research results can be used for oil and gas prospecting as a supplementary tool to determine the structural features of hydrocarbon deposits.

Keywords: near-surface geochemical exploration, STAGR, Nedilna structure, types of faults, tectonically-shielded deposits.

И. Багрий, д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник

E-mail: bagrid@ukr.net

Институт геологических наук НАН Украины, вул. О. Гончара 55-б, Киев, 01054 Украина,

А. Карпенко, д-р геол. наук, проф.

E-mail: alexbrig@inbox.ru,

А. Кулиш, асп.

E-mail: kulish.andrii@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

В. Глонь, асп.

E-mail: vitaliyglon@gmail.com

Институт геологических наук НАН Украины, вул. О. Гончара 55-б, м. Киев, 01054 Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Приповерхностные геохимические методы – прямые методы поиска месторождений углеводородов, являются малозатратными и экспрессными. Авторами были разработаны предпосылки использования данных приповерхностной геохимической разведки для уточнения геологического строения месторождений углеводородов. Разработка новых подходов к интерпретации данных приповерхностной геохимической разведки позволит более эффективно проводить поисково-разведочные работы в пределах перспективных участков. Также, данные методики можно использовать в комплексе с геологическими, геофизическими, геохимическими и промышленными методами для улучшения качества полученных результатов. Методика данной работы заключается в выяснении зависимостей между глубинными геологическими параметрами перспективного участка и данными газометрической съемки у поверхности Земли, что, в результате, поможет создать новые подходы к интерпретации геохимических аномалий.

Для исследования была использована геологическая информация Недильной структуры, расположенной в пределах северного борта Днепровско-Донецкой впадины. Она представляет собой узкую антиклиналь усложненную продольными и поперечными разломами. В ее границах пробурено пять скважин, в двух из которых был получен промышленный приток газа. Участок был изучен традиционными нефтегазопроисловыми методами, в том числе и геофизическими исследованиями скважин. Также использованы данные метода геолого-структурно-термо-атмогеохимичних исследований (СТАГИ), являющегося комплексной технологией для поиска месторождений нефти и газа. Проведен анализ геологических и геохимических данных для выявления зон с дышащими и экранирующими разломами. С этой целью использованы структурные карты данного участка с нанесенными разрывными нарушениями и данные по содержанию углеводородных и неуглеводородных газов у поверхности Земли. На основе проинтерпретированных данных все разломы были разделены на экранирующие и проводящие. Исследования проведенные с использованием концентраций различных газов дали схожие результаты. Для поиска тектонически-экранированных залежей, данные о проводимости разломов были сопоставлены с результатами газометрической съемки по метану.

Научная новизна работы заключается в том, что были разработаны предпосылки использования приповерхностных геохимических показателей в комплексе с геологическими параметрами для получения дополнительной информации о нефтегазовых месторождениях, в том числе, о типах разломов и наличии тектонически-экранированных залежей. Результаты данных исследований можно использовать при поисках нефти и газа в качестве вспомогательной информации, способствующей уточнению особенностей строения месторождений углеводородов.

Ключевые слова: приповерхностная геохимическая разведка, СТАГИ, Недильная структура, типы разломов, тектонически-экранированные залежи.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.552.53.553

С. Вижва, д-р геол. наук, проф., зав. кафедри геофізики,

А. Шинкаренко, асп.

E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com,

І. Безродна, канд. геол. наук, с.н.с., заст. директора

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,

І. Щуров, канд. техн. наук, генеральний директор,

І. Гафич, канд. геол.-мін. наук, директор з розвідки і перспективного розвитку,

Є. Солодкий, канд. геол. наук, менеджер відділу з моделювання родовищ

ТОВ "ДТЕК НАФТОГАЗ", вул. Льва Толстого, 57, м. Київ, 01032, Україна

**ВПЛИВ ЗМІННОГО ТИСКУ НА АКУСТИЧНІ ТА ЄМНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ
ТЕРИГЕННИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ
(НА ПРИКЛАДІ ЗРАЗКІВ СЕМИРЕНЬКІВСЬКОЇ ПЛОЩІ)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)**Проведено аналіз та інтерпретацію результатів дослідження керну в умовах високих тисків з продуктивних горизонтів свердловин Семиреньківської площі Дніпровсько-Донецької западини.**Метою даної роботи є визначення особливостей зміни акустичних та ємнісних властивостей нижньокам'яновугільних теригенних порід в умовах високих тисків та якісна оцінка зміни структури їх пустотного простору в умовах стиснення та релаксації.**Колекція зразків представлена нижньокам'яновугільними пісковиками. Комплекс петрофізичних робіт проводився в петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.**Методика досліджень: проводилося вимірювання швидкості поздовжньої хвилі та коефіцієнта відкритої пористості зразків після їх насичення моделлю пластової рідини зі збільшенням гідростатичного тиску від 0,1 до 60 МПа і зменшенням його від 60 до 0,1 МПа.**Встановлено, що швидкості пружних хвиль є більш чутливими до зміни тиску, ніж коефіцієнт пористості. Найбільші зміни цих параметрів спостерігалися при збільшенні тиску від 0,1 до 10-15 МПа. За даними проведених досліджень було якісно визначено особливості структури пустотного простору гірських порід та виділено групи зразків зі схожими розподілами типів пористості.**На основі аналізу поведінки швидкостей пружних хвиль та коефіцієнта пористості в умовах, що моделюють пластові, для горизонтів В-17, В-18 та В-19 Семиреньківської площі можна якісно прогнозувати зміну їх колекторських властивостей під час вилучення вуглеводнів та у випадку зміни глибини їх залягання по площі.**Результати проведених досліджень будуть використані для інверсії даних акустичних досліджень у параметри структури пустотного простору та для кількісної оцінки розподілу різних типів пустот у зразках.**Ключові слова: петрофізика, порода-колектор, структура пустотного простору, установка високих тисків, швидкість поздовжніх хвиль, коефіцієнт відкритої пористості.*

Вступ. У наш час значні перспективи нафтогазоносності України пов'язують із глибокозалягаючими, складнобудованими та низькопористими колекторами нафти і газу. У зв'язку з цим досить актуальним є експериментальне вивчення фізичних властивостей порід-колекторів нафти і газу за тисків і температур, що відповідають умовам їх реального залягання. Результати таких досліджень сприяють підвищенню достовірності інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин, дозволяють науково обґрунтовано прогнозувати скупчення нафти і газу, оцінювати фільтраційно-ємнісні властивості пластів-колекторів та більш ефективно обирати методи розкриття пластів та вилучення вуглеводнів.

Велике значення для підвищення інформативності петрофізичних досліджень мають роботи з фізичного та математичного моделювання петрофізичних параметрів [4] в умовах великих глибин, використання для цього сучасних методів планування експериментів та імовірісно-статистичних методів обробки експериментальних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням петрофізичних та деформаційно-міцнісних властивостей порід-колекторів нафти і газу в умовах великих глибин займалося багато дослідників. Зокрема, великий внесок у дослідження петрофізичних параметрів гірських порід в умовах, близьких до пластових, зробили Г.М. Авчян, Д.А. Антонов, Б.В. Байдюк, Є.І. Баюк, Я.Н. Басін, І.М. Безродна, Б.Ю. Вендельштейн, С.А. Вижва, М.П. Воларович, Р.С. Гімаєв, І.Ф. Глумов, В.І. Грицишин, В.М. Дахнов, В.М. Добринін,

Н.В. Дортман, В.М. Ільїнський, В.Ф. Індутний, С.С. Ітенберг, М.К. Калинко, Т.Т. Клубова, В.О. Корчин, Д.І. Кузьмичов, Б.М. Куліков, Т.С. Лебедев, Ю.А. Лімбергер, Є.Е. Лук'янов, Л.М. Марморштейн, Я.Р. Морозович, М.Ю. Нестеренко, В.А. Новгородов, Л.П. Орлов, Е.І. Пархоменко, В.І. Петерсільє, Г.І. Петкевич, Г.Т. Продайвода, Ю.В. Різніченко, З.І. Стаховська, З.Б. Стефанкевич, В.О. Федішин, О.А. Фомін, Г.Д. Ушаков, А.А. Ханін, О.В. Шеремета, Г.А. Шнурман, В.П. Якушев, а також Ф. Берч, М. Біо, В. Брейс, П. Бриджмен, Дж. Волш, Ф. Джоунс, К. Гренвіль, Д. Девіс, І. Карпентер, Дж. Ладефру, А. Летчі, З. Прос, Г. Спенсер, М. Уайлі, І. Фетт, П. Хемсток, Х. Холл, Ф. Юнг та ін. В їх роботах досліджувалися пружні та незворотні деформації скелету породи, коефіцієнти стискуваності, пористості, проникності при високих тисках і температурах, та були встановлені загальні закономірності зміни властивостей різних типів порід з ростом термобаричних параметрів і петрофізичні зв'язки основних фізичних параметрів зі структурними та речовинними характеристиками порід.

В Україні питання впливу термобаричних умов на петрофізичні властивості гірських порід та дослідження порід-колекторів в умовах, що моделюють пластові, вивчені недостатньо і основні дослідження у цьому напрямку представлені роботами І.М. Безродної, С.А. Вижви, Г.Т. Продайводи (вплив тиску на акустичні та електричні параметри гірських порід), С.Д. Федоришина (вплив тиску і температури на електропровідність складнобудованих порід-колекторів),

В.В. Рябухи (вплив тиску, що моделює пластовий, на електричні властивості порід), В.П. Коболева та О.Ю. Корчина (вплив термобаричних умов на кристалічні гірські породи).

Приведення гідродинамічних розрахунків показників розробки родовищ нафти і газу передбачає врахування впливу змін пластового тиску на колекторські властивості порід та реальних процесів, що відбуваються в пласті при змінах тиску. Це особливо актуально для глибокозалягаючих родовищ, де відносна роль впливу пластового тиску на фізичні властивості порід-колекторів помітно зростає. Для таких задач зазвичай використовують дані експериментальних досліджень керну на установці високого тиску (УВТ) [1].

Численними дослідженнями встановлено, що пористість зменшується зі зростанням усебічного тиску, що пояснюється ущільненням породи та зменшенням розмірів пустот. При неповному водонасиченні зразка ущільнення веде до перерозподілу води в пустотах та зростання насичення пустот водою. Таким чином, зростання всестороннього тиску викликає зміни геометрії пустотного простору та розподілу флюїду в пустотах.

Зміна пористості порід під тиском пов'язана зі зміною пустотного об'єму, що залежить від ступеня зцементованості породи, типу цементациї, складу цементу, відсортованості та обкатаності зерен та уламків мінералів тощо. Під дією тиску в породах чи пластах можуть відбуватися незворотні деформації пов'язані, в основному, з руйнуваннями, деформаціями та переупаковкою зерен мінералів. Для слабкозцементованих порід незворотні зміни пористості можуть сягати 50% [2].

При збільшенні тиску від 0,1 до 40 МПа пористість може зменшуватися до 90 ÷ 93% свого початкового значення, при чому основне зниження пористості припадає на тиски 0,1 ÷ 15 МПа і пов'язане із закриттям тріщин та мікротріщин. Для вищих тисків, за рахунок зростання ущільненості породи, спостерігається більш повільне зменшення пористості. При зростанні вмісту глинистої фракції в породах вплив ефективного тиску на пористість і проникність проявляється сильніше [10, 15]. Для погано відсортованих пісковиків зменшення пористості може сягати 20% за тисків близько 150 МПа, а в щільних аргілітах при тому ж тиску – близько 6% [9].

Л.М. Марморштейн [13] зафіксував зміни коефіцієнта пористості, що сягали 40%, при дослідженні пісковиків з базальним та базально-поровим типом цементу в умовах ізотермічного всебічного стискання до 50 ÷ 60 МПа. Це нехарактерно для зцементованих піщано-глинистих порід при пружних деформаціях, і може бути пов'язано з незворотними деформаційними явищами в породах.

Встановлено [18], що в процесі розробки родовищ тріщинна пористість сильно зменшується під впливом усебічного тиску, і величина її зменшення залежить від виснаження колектора. Однак, також експериментально підтверджено, що, незважаючи на значне зниження, тріщинна пористість може бути присутня в породі навіть за тиску 140 МПа, а практично повне "залічування" тріщин спостерігається для більшості порід при величині тиску 280 МПа.

Як відмічено вище, зростання усебічного тиску (при незмінному поровому) чи збільшення ефективного тиску призводить до стискання пустотного простору, зменшення поперечного перерізу пустот та закриття порових каналів і тріщин. Експериментально було встановлено [21, 23], що швидкість повздовжньої хвилі більша вздовж нашарування, ніж уперек і суттєво зростає зі збільшенням тиску чи водонасичення. Зі зростанням усебічного тиску з атмосферного до 20 ÷ 23 МПа, швидкості можуть зростати на 25 ÷ 30% для зразків, вирізаних пер-

пендикулярно до нашарування, і на 18 ÷ 30% для зразків, вирізаних паралельно до нашарування, що говорить про значну акустичну анізотропію. Якщо пустоти в зразку орієнтовані хаотично, зростання швидкостей під впливом гідростатичного тиску не залежить від напрямку вимірювання. Усебічний тиск та водонасичення сприяють зростанню не лише швидкості повздовжньої хвилі, а і амплітуди та частоти ультразвукового сигналу. Значення, отримані для зростаючого тиску (прямий хід – PX), зазвичай відрізняються від отриманих для спадаючого тиску (зворотній хід – ZX) через присутність незворотних деформацій у зразках порід [16, 20, 21].

Якісно вплив тиску до 250 МПа на швидкість для зразків пісковиків, алевролітів, вапняків і глин неоднаковий. Реакція швидкостей пружних хвиль на зростаючий тиск нелінійна, при чому основні зміни спостерігаються в інтервалі від атмосферного тиску до 50 ÷ 100 МПа, що пов'язано із закриттям мікротріщин, тонких пустот на контактах зерен та найбільш нестійких пустот, що веде до загального зростання міцності породи. При подальшому зростанні тиску градієнт збільшення швидкості зменшується і крива залежності $V_p(P)$, як правило, прямує до асимптоти. Зокрема, за тисків вище 200 МПа швидкість зростає повільно, в інтервалі від 200 до 1500 МПа вона, зазвичай, зростає лише на 3-8% і це пов'язано, основною мірою, з ущільненням породи та контактів між зернами мінералів і подальшим закриттям мікротріщин [3, 11, 17, 19, 21].

Як зазначено у багатьох роботах, для теригенних порід важливе значення має мінеральний склад та структура цементу порід, оскільки ці фактори визначають поведінку в процесі деформації. Мінімальна зміна швидкості зі збільшенням тиску спостерігається в уламкових породах, зцементованих кварцовим, опаловим, карбонатним або кременистим цементом, а найбільші – за наявності глинистого цементу базального типу. Тому для пісковиків та алевролітів, в яких присутній цемент глинистий базального та контактового типу, характерне більш сильне стискання пустот та, відповідно, (за однакової пористості з пісковиками, що зцементовані опаловим цементом) менші значення V_p та більший діапазон зміни V_p в залежності від зміни тиску [3, 19, 22, 23].

Вплив тиску на інтервальний час пробігу пружної хвилі має наступний характер: найменше він змінюється для низькопористих порід, найбільше (близько 40 ÷ 50%) – для високопористих. Останні є слабкозцементованими, тому підвищення усебічного стискання призводить до покращення акустичного контакту між окремими зернами, і, відповідно, до різкого скорочення часу проходження акустичних хвиль [14].

Метою даної роботи є визначення особливостей зміни акустичних та емісійних властивостей нижньокам'яновугільних теригенних порід зі свердловин Семиренківської площі ДДЗ в умовах високих тисків та якісна оцінка зміни структури їх пустотного простору в умовах стиснення та релаксації.

Методика досліджень. Для експериментальних петрофізичних досліджень в умовах змінних тисків використовувалась оригінальна УВТ, яку було сконструйовано в ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. УВТ дає можливість змінювати всесторонній тиск від 0,1 МПа до 100 МПа, а внутрішньопоровий від 0,1 до 5 МПа і реєструвати швидкості поздовжніх пружних хвиль, електричний опір зразків та визначати зміну відкритої пористості зразків завдяки контролю за зміною об'єму зразка.

Принцип знаходження швидкостей пружних хвиль полягає в тому, що в спеціальну манжету із вулканізованої гуми поміщається зразок у формі циліндра з ді-

метром 30 мм та довжиною 30 мм, насичений моделлю пластової рідини. Ультразвукові датчики розміщуються по двох паралельних площинах циліндра. Через визначений інтервал часу в установці змінюють тиск та вимірюють час проходження пружних хвиль через зразок, на основі чого розраховують їх швидкості [12].

Процес лабораторного дослідження можна розділити на два етапи: під час першого етапу тиск збільшувався від 0,1 МПа до 60 МПа за кроком 5 МПа (ПХ), а під час другого – зменшувався від 60 МПа до 0,1 МПа (ЗХ). Величина максимального тиску визначалася глибиною залягання окремих горизонтів та ефективними тисками, замірними у свердловині.

Результати. У роботі проводився аналіз результатів дослідження петрофізичних параметрів в умовах змінних тисків колекції з 43-х зразків Семиренківської площі ДДЗ. Зокрема, досліджувалися швидкості поздовжніх хвиль та коефіцієнт відкритої пористості зразків (з продуктивних горизонтів В-17, В-18, В-19 свердловин №№ 16, 18, 21 та 67). Літологічно зразки представлені пісковиками та алевритистими пісковиками, які стратиграфічно відносяться до візейського ярусу нижнього карбону. Зразки відібрані в інтервалах глибин від 5216 м до 5617 м.

На основі отриманих даних були побудовані графіки залежності швидкостей поздовжніх хвиль від тиску ($V_p = f(P)$) для прямого та зворотного циклів вимірювань, а також графіки залежностей коефіцієнта відкритої по-

ристості від прикладеного тиску ($K_n = f(P)$). Також було побудовано графіки залежності швидкості поздовжніх хвиль від коефіцієнта відкритої пористості для відповідних значень тисків.

Швидкості поздовжніх хвиль для досліджуваних зразків в атмосферних умовах змінюються від 3600 м/с до 5380 м/с. За тиску 60 МПа швидкості тих самих зразків збільшилися і змінюються в межах $4440 \div 6560$ м/с, причому інтенсивність зміни швидкості не залежить від її початкового значення, а визначається, в першу чергу, структурою пустотного простору, літологією та текстурно-структурними особливостями зразків. Найбільше значення швидкості в атмосферних умовах характерне для зразка № 9193 ($V_p = 5380$ м/с) з $K_n = 1,4$ %, найменше – для № 9217 ($V_p = 3600$ м/с) з $K_n = 13,2$ %.

На основі аналізу результатів дослідження встановлено, що загалом збільшення тиску призводить до зростання швидкості проходження поздовжньої хвилі крізь зразок, однак це зростання нелінійне, і неоднакове для різних зразків. Для деяких зразків (наприклад для зразка № 6180) спостерігається стрімкий стрибок на перших 5 МПа і поступове подальше зростання; а для інших (наприклад, № 9234) – поступове зростання протягом усього циклу вимірювань; для третьої групи зразків (таких як № 9227) – невелике пониження на перших 5 МПа і зростання при подальшому збільшенні тиску (Рис. 1).

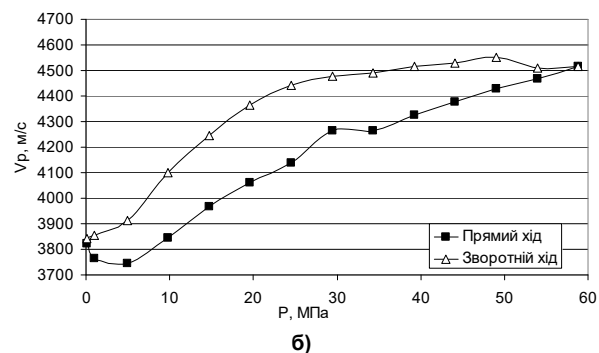
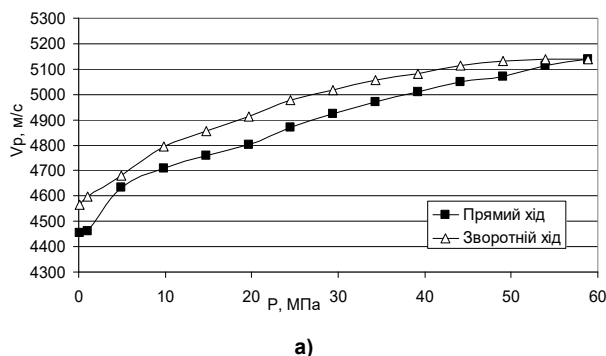


Рис.1. Вплив тиску на швидкість поздовжньої хвилі для різних зразків керну:
а) зразок № 6180 (горизонт В-18, св. № 16); б) зразок № 9227 (горизонт В-19, св. № 67)

Найменші градієнти збільшення швидкості при збільшенні тиску до 60 МПа спостерігаються для зразків №№ 6174, 9163, 9164, 9208, 9242, 9283, 9295, а найбільші – для зразків №№ 9186, 9193, 9221, 9228, 9245, 9268. Для деяких зразків, як, наприклад, 9163, 9185, 9186, 9208, 9288, 9291, 9308, 9313, на перших 5-10 МПа стискання присутнє невелике пониження швидкості, яке, скоріше за все, пов'язане з деформаціями скелету зразка.

Для деяких зразків (9193, 9206, 9227, 9254) характерне значне відхилення (до 300-700 м/с) кривих ПХ від кривих ЗХ (Рис. 1, б), що свідчить про значні зміни структури пустотного простору. А для більшості зразків розходження значень швидкості для ПХ і ЗХ значно менші (максимум – 200 м/с), що свідчить про несуттєві та неруйнівні зміни в породі, а також про стабільність структури пустотного простору.

Зафіксоване на кривих стрімке зростання швидкості поздовжніх хвиль в гірських породах в умовах стискання пов'язане з наявністю тріщин та мікротріщин у зраз-

ках. Присутність кількох стрибків зміни кривої $V_p = f(P)$ може вказувати на наявність кількох систем тріщин або інші особливості структури породи, які потребують більш детального вивчення.

Стрибоподібне та нерівномірне зростання швидкості (як, наприклад, у зразках 9193, 9208) дозволяє говорити про складний характер пустотного простору та можливі зміни типів пористості на різних етапах стискання (Рис. 1).

Результати досліджень на УВТ, зокрема, залежності $V_p = f(P)$, також було використано для екстраполяції швидкості поздовжніх хвиль для відібраних зразків на більш високі ефективні тиски (Рис. 2). Отримані дані можуть бути використані для прогнозу значення $V_p(P)$ для порід зі схожою будовою та літологією без проведення лабораторних досліджень або для прогнозу тисків на різних глибинах за відомих швидкостей поздовжніх хвиль та літології геологічного розрізу.

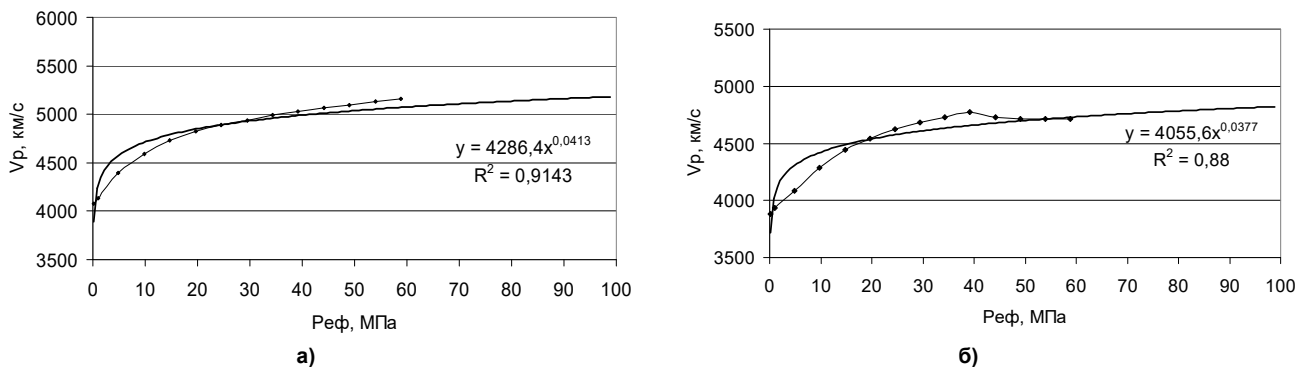


Рис.2. Моделювання зміни швидкості поздовжньої хвилі у зразках зі зміною глибини їх залягання:

а) зразок 9245 (горизонт В-19, св.№ 67, глибина відбору – 5495 м);
б) зразок 9268 (горизонт В-19, св.№ 67, глибина відбору – 5506 м)

Коефіцієнти відкритої пористості зразків, виміряні в атмосферних умовах, змінюються в межах $1,4 \div 13,2 \%$, а після накладання тиску в 60 МПа ці межі змінюються до $0,6 \div 12,4 \%$. Найбільше значення коефіцієнта пористості в атмосферних умовах характерне для зразка № 9217 (13,2 %), найменше – для № 9193 (1,4 %). На рис. 3 наведено приклад зміни коефіцієнта пористості для двох зразків. Якісно криві залежності $K_n = f(P)$ подібні для більшості зразків.

Враховуючи криву зміни коефіцієнта пористості зі збільшенням тиску та відсутність на ній стрибків, можна говорити про досить рівномірне зменшення об'єму пористості, що відповідає ситуації, коли спочатку закриваються тріщини та мікротріщини, а потім гранулярні та перехідні пористості, яких у породі, зазвичай, більше, і для "закриття" яких потрібно прикладати більші зусилля.

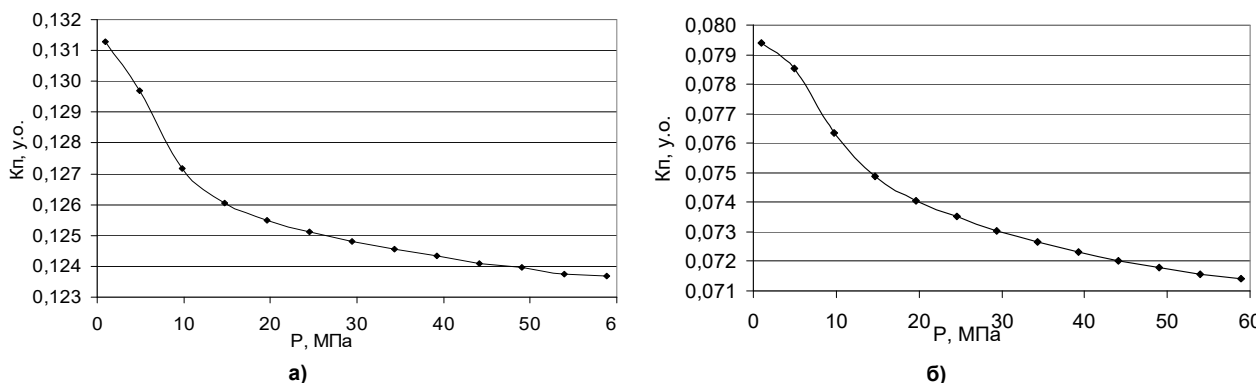


Рис.3. Вплив тиску на коефіцієнт відкритої пористості для різних зразків керну:

а) залежність $K_n(P)$ для зразка 9254, горизонт В-19, св.№ 67; б) залежність $K_n(P)$ для зразка 9235, горизонт В-19, св.№ 67

Встановлено, що характер зміни коефіцієнта відкритої пористості від тиску не завжди відповідає характеру зміни швидкості поздовжньої хвилі від тиску – коефіцієнт пористості зазвичай зменшується плавно, без стрибків, у той час як швидкість може зростати стрибкоподібно, іноді навіть трохи знижуватися на перших кроках стискування. Це пов'язано з тим, що крива зміни коефіцієнта пористості характеризує лише зміну загального об'єму відкритих пористот, а крива зміни швидкості поздовжньої хвилі якісно відображає і зміну форматів пористот та співвідношення різних типів пористості.

Таким чином, швидкість поздовжніх хвиль є більш чутливою до зміни тиску, ніж коефіцієнт пористості. Зокрема, для наведеної вище групи зразків відносні зміни K_n складають $4,9 \div 12,5 \%$, а V_p – $13,7 \div 23,8 \%$.

Залежності $V_p = f(P)$ та $K_n = f(P)$ для досліджених зразків апроксимовані авторами степеневими функціями виду $V_p = V_{p0} P^a$ та $K_n = K_{n0} P^b$ (де K_{n0} – коефіцієнт пористості породи в атмосферних умовах, а V_{p0} – швидкість поздовжньої хвилі в зразку в атмосферних умовах, або дуже близьке до неї значення) з високими значеннями коефіцієнта достовірності апроксимації.

На основі аналізу та систематизації результатів петрофізичного вивчення колекції зразків та форм кривих залежностей $V_p = f(P)$, $K_n = f(P)$ та $V_p(P) = f(K_n(P))$ серед них було виділено групи з однотипною поведінкою петрофізичних параметрів в умовах, що моделюють пластові, та якісно визначено головні особливості структури їх пустотного простору.

В межах кожного з досліджуваних продуктивних горизонтів В-17, В-18 та В-19 для свердловин 16, 18, 21 та 67 можна виділити по 2-3 групи зразків з подібною структурою пустотного простору та подібною їй зміною під впливом змінного тиску. Зокрема, в породах горизонту В-19 для свердловини № 67 виділено три групи зразків і по дві групи – для свердловин № 21 та № 18, породи яких надалі можна розглядати як близькі за структурою пустотного простору та колекторськими властивостями.

Зв'язку між віднесенням зразка до певної групи та глибиною його відбору не встановлено. Ймовірно, для зразків в межах кожної групи є зв'язок з типом цементу та структурно-текстурними особливостями порід, однак ці дані потребують уточнення та більш глибокого дослідження зразків.

Для горизонтів В-17 та В-18 у свердловині № 16 також було виділено по дві групи зразків зі схожими властивостями, однак вони є менш представницькими через меншу кількість зразків, тому надалі розглянемо лише породи горизонту В-19.

Авторами, зокрема, виділено групу зразків з подібною структурою пустотного простору для горизонту В-19 свердловини №67 Семиреньківської площі, що представлена зразками №№ 9220, 9242, 9254 та 9288. Дана група зразків характеризується наступними особливостями:

однаковий літологічний склад – усі зразки представлені пісковиками;

діапазон зміни швидкостей поздовжніх хвиль: 3720 ± 5064 м/с;

зразки мають досить високе значення коефіцієнта пористості – в межах 7,1-13,1 %;

форма кривої залежності $V_p = f(P)$ дуже близька для всіх зразків і характеризується рівномірним зрос-

танням швидкості під час ПХ та рівномірним зменшенням під час ЗХ, а також незначним розходженням кривих для ПХ та ЗХ;

різниця між швидкостями поздовжніх хвиль для ЗХ та ПХ на однакових тисках в межах 275 м/с.

На основі наведених особливостей можна говорити про те, що досліджена група зразків представлена колекторами з невеликою присутністю тріщинної пористості (або переважно пористістю пустот, близьких до гранулярних). Під час дії на породу пластових умов частка незворотних деформацій у ній дуже мала.

На рис. 4 представлено графіки залежностей $V_p = f(P)$, $K_n = f(P)$ та $V_p(P) = f(K_n(P))$ для описаної вище групи зразків №№ 9220, 9242, 9254 та 9288 та приклад апроксимації залежностей між параметрами для зразка № 9254 степеневими функціями з наведеними рівняннями та значеннями коефіцієнтів достовірності апроксимації.

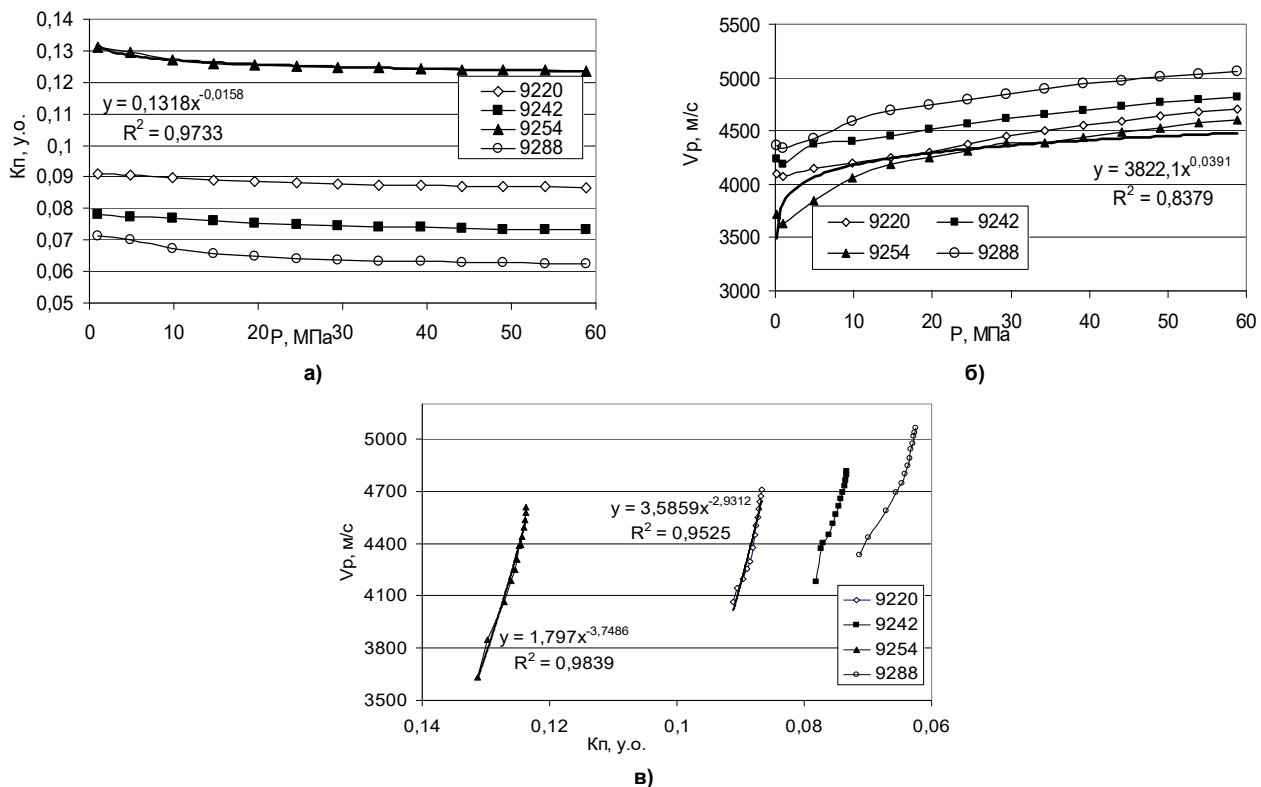


Рис. 4. Вплив тиску на коефіцієнт відкритої пористості (а), швидкість поздовжніх хвиль (б) для одної з груп зразків горизонту В-19 св.№67, та залежність між швидкістю поздовжніх хвиль і коефіцієнтом пористості (в) для змінних тисків

Для ілюстрації відмінності між різними групами зразків в межах одного горизонту та однієї свердловини на рис. 5 наведено залежності $V_p(P) = f(K_n(P))$ для різних груп зразків горизонту В-19 свердловин №№ 18, 21 і 67 Семиреньківської площі.

Очевидно, що для різних груп зразків характерний різний характер залежностей між петрофізичними параметрами в різних баричних умовах – швидкість може зростати і спадати плавно чи стрибкоподібно, при чому стрибки при прямому циклі вимірювань зазвичай (як і в дослідженнях інших авторів [2, 10, 11, 15, 17, 19, 22, 23]) зустрічаються за тисків 0,1 ÷ 15 МПа і відповідають закриттю пустот різних типів, в основному, тріщин та різкій зміні розмірів інших пустот.

Ймовірно, що між групами кожного з горизонтів для різних свердловин можна встановити кореляцію, однак,

для цього потрібні більш детальні дані стосовно геологічного розрізу в свердловинах та кореляція відкладів за глибиною за даними ГДС та буріння.

На рис. 5 проілюстровано, що характер залежності швидкості поздовжніх хвиль та коефіцієнта пористості в умовах зростаючого навантаження на породу досить складний і відрізняється для зразків з різними літологічними та структурними особливостями. Окрім того, графіки $V_p(P) = f(K_n(P))$ дають змогу якісно визначати вміст різних типів пористості за стрибками та перегибами кривих. Для зразків 1 групи свердловини № 67 спостерігається невелике пониження швидкості на перших кроках стиснення на фоні загального зменшення пористості (Рис. 5, а). Це свідчить про одночасне ущільнення та незначне руйнування в породі, причому вплив руйнування на цьому етапі переважає вплив закриття пустот.

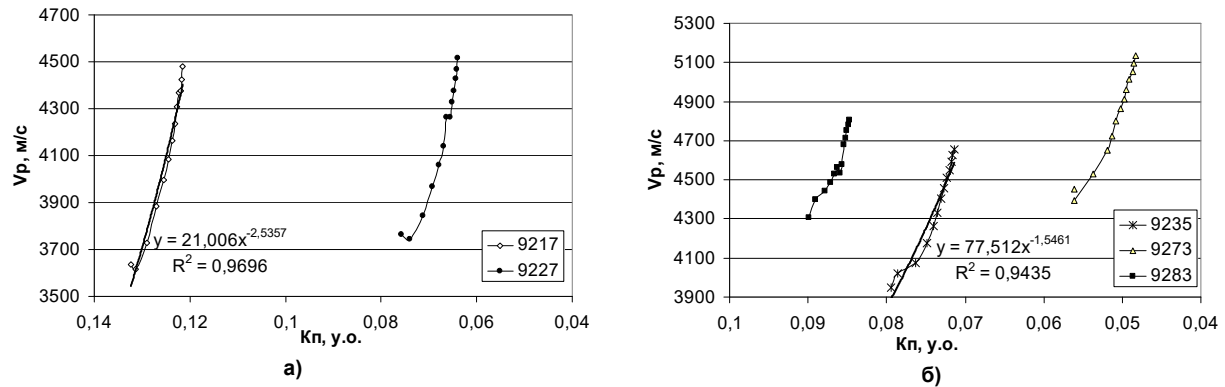


Рис. 5. Приклад залежностей між швидкістю поздовжніх хвиль і коефіцієнтом пористості для змінних тисків для зразків різних груп горизонту В-19:

а) група 1, свердловина №67; б) група 2, свердловина №67

В інших групах спостерігається наростання швидкості поздовжніх хвиль зі зменшенням пористості, однак для всіх груп зразків у певний момент стиснення спостерігається стрибок або зміна кута нахилу кривої, що може говорити про закриття тріщин та перехід до поступового закриття гранулярних (або близьких до них)

пустот, або ж перехід домінуючої ролі від одного типу пустот до іншого (Рис. 4, в; 5, б).

Для уточнення типів пустот та їх зміни при зміні тиску у подальшому авторами буде проведено кількісну оцінку розподілу пустот різних форматів.

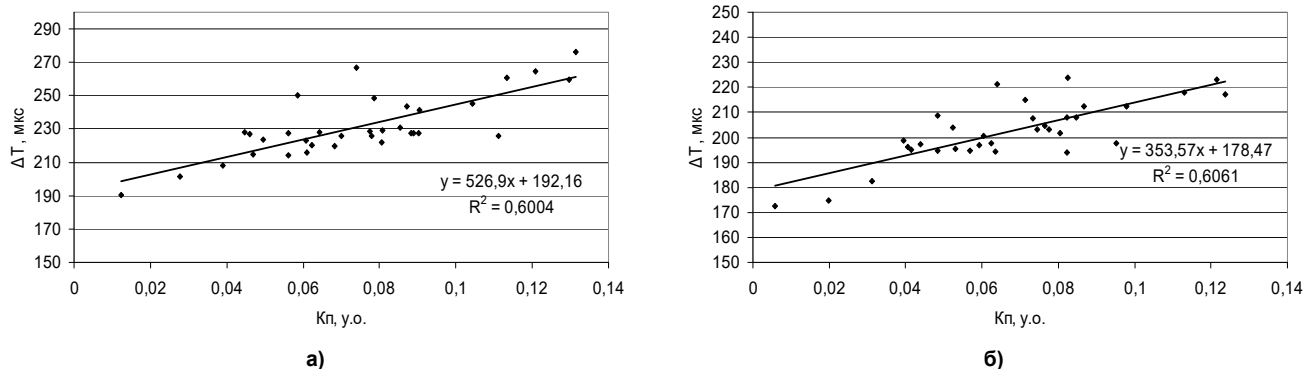


Рис.6. Приклад залежностей між інтервальним часом пробігу поздовжніх хвиль та коефіцієнтом відкритої пористості для теригенних зразків Семиренківської площі (інтервал глибин 5482-5617 м горизонтів В-17, В-18, В-19 свердловин 18, 21, 67): а) тиск 5 МПа; б) тиск 60 МПа

На основі аналізу залежностей $V_p(P) = f(K_n(P))$ для досліджуваних зразків було побудовано графіки $\Delta T = f(K_n)$ для кожного рівня стиснення (Рис. 6) та визначено лінійні функції, що описують залежність між цими параметрами, і коефіцієнти достовірності апроксимації (Табл. 1).

Висновки та перспективи розвитку наряду. У представлений роботі показано результати комплексного дослідження та систематизації петрофізичних властивостей

теригенних порід Семиренківської площі в умовах високих тисків (до 60 МПа) та аналіз отриманих результатів.

За кривими залежності швидкості поздовжніх хвиль і відкритої пористості від тиску було визначено групи зразків з подібними акустичними та ємнісними властивостями. Як критерії для виділення груп було використано градієнти зміни швидкості поздовжніх хвиль та коефіцієнтів пористості при зміні тиску; розходження кривих ПХ та 3Х, значення V_p та K_n в атмосферних умовах.

Таблиця 1. Кореляційні рівняння, отримані для опису залежності $\Delta T = f(K_n)$ для зразків Семиренківської площі за різних рівнів стиснення

Тиск, МПа	$\Delta T = f(K_n)$	R2
0,1	$y = 609,84x + 189,32$	0,68
1	$y = 579,11x + 192,67$	0,65
5	$y = 529,9x + 192,16$	0,60
10	$y = 469,06x + 192,12$	0,57
15	$y = 429,74x + 190,77$	0,57
20	$y = 403,31x + 189,56$	0,56
25	$y = 387,9x + 187,5$	0,56
30	$y = 376,32x + 186,08$	0,58
35	$y = 365,29x + 185,05$	0,57
40	$y = 364,07x + 183,11$	0,58
45	$y = 365,19x + 181,51$	0,60
50	$y = 367,43x + 180,05$	0,61
55	$y = 358,61x + 179,28$	0,60
60	$y = 353,57x + 178,47$	0,61

Також було якісно визначено співвідношення різних типів пористості у зразках на різних стадіях стискання, а саме – зменшення вмісту тріщинної пористості зі стисканням і закриттям основної частини тріщин за тисків $0,1 \div 15$ МПа. На основі отриманих результатів встановлено можливість погіршення колекторських властивостей порід-колекторів під час їх ущільнення (за умови зменшення загальної пористості та відсутності нових проникних каналів).

Показано, що під час розробки родовищ (в умовах збільшення ефективного тиску) можна очікувати відносні зміни пористості до $4,9 \div 12,5\%$ та швидкості позовжних хвиль до $13,7 \div 23,8\%$.

Дані дослідження зміни швидкості позовжних хвиль зразків при зміні тиску було екстрапольовано в область більших ефективних тисків, що дозволяє прогнозувати ємнісні параметри подібних порід за інших умов залягання.

Результати проведених досліджень можуть бути використані для визначення перспективності порід різного літологічного складу, моделювання їх властивостей для різних глибин залягання та кількісного визначення структури їх пустотного простору.

Авторами отримані залежності між швидкостями позовжних хвиль, інтервальними часами пробігу позовжних хвиль, коефіцієнтами пористості та баричними умовами (які відповідають різним глибинам залягання порід), що можуть бути використані для уточнення інтерпретації даних ГДС для досліджуваної площі.

За допомогою оригінальної методики, розробленої в ННІ "Інститут геології" [5, 6, 7, 8, 11], авторами планується використати отримані дані для кількісної оцінки структури пустотного простору порід та, відповідно, визначення перспективності порід-колекторів.

Список використаних джерел

- Абасов М.Т. О влиянии пластового давления на изменение фильтрационно-емкостных свойств терригенных пород-коллекторов в процессе разработки месторождений нефти и газа / М.Т. Абасов, Р.Д. Джеваншир, А.А. Иманов, Г.И. Джалалов. // Геология нефти и газа. – 1997. – №5. – www.geolib.ru.
- Авчян Г. М. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях / Г.М. Авчян, А.А. Матвеев, З.Б. Стефанкевич. – Москва: Недра, 1979. – 224 с.
- Баюк В.П. Физические свойства коллекторов нефти при высоких давлениях и температурах: сборник статей / Под ред. В.П. Баюк. – Москва, 1965.
- Безродна І. Математичне моделювання впливу мінерального складу та пористості на параметри пружної анізотропії складнопобудованих теригенних порід Волино-Поділля / І. Безродна, Д. Безродний, Р. Голяк. // Вісник Київського університету, серія Геологія. – 2016. – №73. – С.27-32.
- Безродна І. Оцінка структури пустотного простору низькопористих порід Зарічної площі за результатами петрофізичних та геофізичних досліджень / І. Безродна, А. Шинкаренко. // Вісник Київського університету, серія Геологія. – 2015. – №69. – С. 53–58.
- Безродна І.М. Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску / І.М. Безродна. // Вісник НГУ. – 2014. – С. 21-25.
- Безродна І.М. Прогноз колекторських властивостей теригенних порід-колекторів за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску (на прикладі Володимирської площі Волино-Поділля) / І.М. Безродна. // Вісник Харківського національного університету. Серія "геологія – географія – екологія". – 2015. – № 1128(41). – С.21-25.
- Вижва С. Кількісна оцінка структури пустотного простору теригенних порід за результатами досліджень в умовах змінного тиску зразків Сушнівської площі Волино-Поділля / С. Вижва, І. Безродна, О.Демченко. // Матеріали XIth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects. 2012.
- Гиматулинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта: учебник / Ш.К. Гиматулинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1971. – 312 с.
- Григорьев Б.В. Влияние изменения эффективного давления на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов / Б.В. Григорьев, А.А. Шубин. // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1, №2(2). – С. 15-21.
- Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. / Под ред. Н. Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
- Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського про-

гину: звіт з НДР / С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, І. М. Безродна та ін. – Київ, 2011. – 594 с.

13. Мarmorштейн Л.М. Влияние горного давления на электрическое сопротивление и коэффициент пористости горных пород (на примере Чайдакского разведочного участка Нордвикского района): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Л.М. Мarmorштейн. – М., 1962.

14. Орлов Л.И. Влияние термобарических условий на зависимость между интервальным временем, электрическим сопротивлением и пористостью пород нижнемеловых отложений Даулетабад-Донмезского месторождения / Л.И. Орлов, В.Г. Топорков, Е.Ф. Жук, Л.В. Конькова. // Геология нефти и газа. – 1981. – №08.

15. Ali H.S. The effect of overburden pressure on relative permeability / H.S. Ali, M.A. Al-Marhoun, S.A. Abu-Khamsin, M.S. Celik. // SPE 15730. – 1987. – P. 335-340.

16. Birch F. The Velocity of Compressional Waves in Rocks to 10 Kilobars, Part 1 / F. Birch. // Journal of Geophysical research. – 1960. – V. 65, №4. – P. 1083–1102.

17. Gueguen Y. How cracks modify permeability and introduce velocity dispersion: Examples of glass and basalt / Y. Gueguen, M. Adelinet et al. // The Leading Edge. – 2011. – V. 30, №12. – P. 1392-1398.

18. McLatchie S. The Effective Compressibility of Reservoir Rock and Its Effects on Permeability / S. McLatchie, R.A. Hemstock, J.W. Young. // Journal of petroleum technology. – 1958. – №10(6). – P. 49-51.

19. Pros Z. Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples / Z. Pros, T. Lokajicek, K. Klima. // Pure and Applied Geophysics, Birkhauser Verlag. – 1998. – №151. – P. 619–629.

20. Schon J.H. Handbook of Petroleum Exploration and Production. Physical Properties of Rocks: a Workbook / J.H. Schon. – Elsevier, 2011. – 481 p.

21. Simmons G. Velocity of Shear Waves in Rocks to 10 Kilobars, 1 / G. Simmons. // Journal of Geophysical Research. – 1964. – V.69, №6. – P. 1123-1130.

22. Todd T. Effect of Pore Pressure on the Velocity of Compressional Waves in Low-Porosity Rocks / T. Todd, G. Simmons. // Journal of geophysical research. – 1972. – 77, №20. – P.3731-3743.

23. Yu G. Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. Int. 3 / G. Yu, K. Vozoff, D. W. Durney. // Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1991. – V. 28, №6. – P. 515-522.

References

- Abasov, M.T., Dzhevanshir, R.D., Imanov, A.A., Dzhalalov, G.I. (1997). O vliianii plastovogo davleniia na izmenenie filtratsionno-embkostnykh svoystv terrigennykh porod-kollektorov v protsesse razrabotki mestorozhdenii nefiti i gaza. Geologiya nefiti i gaza, 5. www.geolib.ru. [in Russian].
- Avchian, G. M., Matveenko, A.A., Stefankevich, Z.B. (1979). Petrofizika osadочnykh porod v glubinnnykh usloviakh, Moskva: Nedra, 224 p. [in Russian].
- Baiuk, V.P. (1965). Fizicheskie svoystva kollektorov nefiti pri vysokikh davleniakh i temperaturakh. Sbornik statei. Pod red. V.P. Baiuk. Moskva. [in Russian].
- Bezrodna, I., Bezrodnyi, D., Holiaka, R. (2016). Matematychnе modeliuвання vplyvu mineralnogo skladu ta porystosti na parametry pruzhnoi anizotropii skladnopobudovanykh terigennykh porid Volyno-Podillia. Visnyk Kyivskoho universytetu, seria Heolohiia, 73, 27-32. [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.73.04>.
- Bezrodna, I., Shynkarenko, A. (2015). Otsinka struktury pustotnoho prostoru nyzkoporystnykh porid Zarichnoi ploshchi za rezul'tatamy petrofizychnykh ta heofizychnykh doslidzhen. Visnyk Kyivskoho universytetu, seria Heolohiia, 69, 53–58. [in Ukrainian]. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.69.08.53-58>.
- Bezrodna, I.M. (2014). Otsinka struktury pustotnoho prostoru karbonatnykh porid za rezul'tatamy akustychnykh doslidzhen v umovakh zminnoho tysku. Visnyk NHU, 21-25. [in Ukrainian].
- Bezrodna, I.M. (2015). Prohnoz kolektoroskykh vlastyvoستي terigennykh porid-kolektoriv za rezul'tatamy akustychnykh doslidzhen v umovakh zminnoho tysku (na prykladi Volodymyrskoi ploshchi Volyno-Podillia). Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo universytetu. Seria "heolohiia – heohrafiia – ekolohiia", 1128(41), 21-25. [in Ukrainian].
- Vyzhva, S.A., Bezrodna, I.M., Demchenko O. (2012). Kil'kisna otsinka struktury pustotnoho prostoru terigennykh porid za rezul'tatamy petrofizychnykh doslidzhen v umovakh zminnoho tysku (na prykladi Volodymyrskoi ploshchi Volyno-Podillia) / S. Vyzhva, I. Bezrodna. // Materialy XIth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects. [in Ukrainian].
- Gimatudinov, Sh. K. (1971). Fizika nefiianogo i gazovogo plasta. Uchebnik. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 312 p. [in Russian].
- Grigorev, B.V., Shubin, A.A. (2015). Vliianie izmeneniia effektivnogo davleniia na filtratsionno-embkostnye svoystva porod-kollektorov. Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft, gaz, energetika, 1, 2(2), 15-21. [in Russian].
- Dortman, N.B. (1984). Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaeemykh (petrofizika). Spravochnik geofizika. Pod red. N. B. Dortman. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 455 p. [in Russian].
- Vyzhva, S.A., Prodaivoda, G.T., Bezrodna, I.M. et al. (2011). Kompleksni heoloho-petrofizychni doslidzhennia skladnopobudovanykh porid-kolektoriv skhidnogo skhyly Lvivskoho paleozoiskoho prohynu. Zvit z NDR. Kyiv, 594 p. [in Ukrainian].
- Marmorstein, L.M. (1962). Vliianie gornogo davleniia na elektricheskoe soprotivleniie i koeffitsient porystosti gornakh porod (na primere Chaidakhs'kogo razvedochnogo uchastka Nordvick'skogo raiona). Avtoref. diss. ... kand.geol.-mineral. nauk. Moskva. [in Russian].
- Orlov, L.I., Toporkov, V.G., Zhuk, E.F., Konkova, L.V. (1981). Vliianie termobaricheskikh uslovii na zavisimosti mezhdu intervalnym

временем, электрическим сопротивлением и пористости пород низинеловых отложений Даулетбад-Донезского месторождения. Геология нефти и газа, 08. [in Russian].

15. Ali, H.S., Al-Marhoun, M.A., Abu-Khamsin, S.A., Celik, M.S. (1987). The effect of overburden pressure on relative permeability. SPE 15730, 335-340.

16. Birch, F. (1960). The Velocity of Compressional Waves in Rocks to 10 Kilobars, Part 1. Journal of Geophysical research, 65(4), 1083-1102. <http://dx.doi.org/10.1029/JZ065i004p01083>.

17. Gueguen, Y., Adelinet, M. et al. (2011). How cracks modify permeability and introduce velocity dispersion: Examples of glass and basalt. The Leading Edge, 30(12), 1392-1398. <http://dx.doi.org/10.1190/1.3672484>.

18. McLatchie, S., Hemstock, R.A., Young, J.W. (1958). The Effective Compressibility of Reservoir Rock and Its Effects on Permeability. Journal of petroleum technology, 10(6), 49-51.

19. Pros, Z., Lokajicek, T., Klima, K. (1998). Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples. Pure and Applied Geophysics, Birkhauser Verlag, 151, 619-629.

20. Schon, J.H. (2011). Handbook of Petroleum Exploration and Production. Physical Properties of Rocks. A Workbook. Elsevier, 481 p. ISBN: 9780444537966.

21. Simmons, G. (1964). Velocity of Shear Waves in Rocks to 10 Kilobars, 1. Journal of Geophysical Research, 69(6), 1123-1130. <http://dx.doi.org/10.1029/JZ069i006p01123>.

22. Todd, T., Simmons, G. (1972). Effect of Pore Pressure on the Velocity of Compressional Waves in Low-Porosity Rocks. Journal of geophysical research, 77(20), 3731-3743. <http://dx.doi.org/10.1029/JB077i020p03731>.

23. Yu, G., Vozoff, K., Durney, D. W. (1991). Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 28(6), 515-522. [http://dx.doi.org/10.1016/0148-9062\(91\)91127-D](http://dx.doi.org/10.1016/0148-9062(91)91127-D).

Надійшла до редколегії 14.12.16

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol), prof., Head of the Department of Geophysics,

A. Shynkarenko, Ph.D student

E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com,

I. Bezrodna, Cand. Sci.(Geol), Assotiate director of Institute of Geology

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

I. Shchurov, PhD, Chief Executive Officer,

I. Gafyith, Cand. Sci.(Geol.-min), director of exploration and perspective development,

I. Solodkyi, Cand. Sci.(Geol), manager of reservoirs modeling department

LLC "DTEK Naftogaz", 57 Lva Tolstogo Str., Kyiv 01032, Ukraine

INFLUENCE OF VARIABLE PRESSURE ON ACOUSTIC AND VOLUMETRIC PROPERTIES OF TERRIGENOUS RESERVOIR ROCKS (ON THE EXAMPLE OF SEMYRENKIVSKA AREA SAMPLES)

Analysis and interpretation of investigations of the rock samples from the producing horizons of Semyrenkivska area of Dnieper-Donets Basin under high pressure were carried out.

The purpose of this paper is to determine peculiarities of acoustic and volumetric properties of Lower Carboniferous terrigenous rocks changes under high pressure and qualitative evaluation of their void space structure changes during compression and relaxation.

Set of samples is presented by Lower Carboniferous sandstones. Petrophysical investigations were carried out at the petrophysical laboratory of Institute of Geology of Taras Shevchenko National university of Kyiv.

Research technique includes the measurement of compressional wave velocity and open porosity value of the samples saturated with the reservoir fluid model under the influence of increasing hydrostatic pressure (from 0 up to 60 MPa) and decreasing pressure (from 60 to 0 MPa).

Compressional waves' velocities were found to be more sensitive to pressure variations than the open porosity value. The highest changes in these parameters were obtained for the pressure range from 0 to 10-15 MPa. The peculiarities of the void space structure of rocks were qualitatively determined and the groups of samples with similar distribution of the porosity types were separated using the data of the conducted investigations.

Qualitative prediction of reservoir properties changes for the horizons B-17, B-18 and B-19 of Semyrenkivska area in case of hydrocarbons extraction or their variable depth based on the analysis of elastic waves and open porosity values changes under the influence of high pressure can be made.

Results of the conducted investigations will be used for the acoustic data inversion into the parameters of void space structure and quantitative evaluation of distribution of different pore types in the samples.

Key words: petrophysics, reservoir rock, void space structure, high-pressure unit, compressional wave velocity, open porosity.

C. Выхва, д-р геол. наук, проф., зав. кафедры геофизики,

A. Шинкаренко, асп.

E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com,

И. Безродная, канд. геол. наук, с.н.с., зам. директора

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

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

И. Щуров, канд. техн. наук, генеральный директор,

И. Гафич, канд. геол.-мин. наук, директор по разведке и перспективному развитию,

Е. Солодкий, канд. геол. наук, менеджер отдела по моделированию месторождений

ООО "ДТЭК НЕФТЕГАЗ", ул. Льва Толстого, 57, г. Киев, 01032, Украина

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА АКУСТИЧЕСКИЕ И ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗЦОВ СЕМИРЕНЬКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ)

Проведен анализ и интерпретация результатов исследования керн в условиях высоких давлений из продуктивных горизонтов скважин Семиреньковской площади Днепровско-Донецкой впадины.

Целью данной работы является определение особенностей изменения акустических и емкостных свойств нижнекаменноугольных терригенных пород в условиях высоких давлений и качественная оценка изменения структуры их пустотного пространства в условиях сжатия и релаксации.

Коллекция образцов представлена нижнекаменноугольными песчаниками. Комплекс петрофизических работ проводился в петрофизической лаборатории УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Методика исследований: проводились измерения скоростей продольной волны и коэффициента открытой пористости образцов после их насыщения моделью пластовой жидкости с увеличением гидростатического давления от 0,1 до 60 МПа и его снижением от 60 до 0,1 МПа.

Определено, что скорости упругих волн являются более чувствительными к изменениям давления, чем коэффициент пористости. Максимальные изменения этих параметров наблюдались при возрастании давления от 0,1 до 10-15 МПа. На основе полученных данных были качественно определены особенности структуры пустотного пространства горных пород и выделены группы образцов с подобными распределениями типов пористости.

На основании анализа поведения скоростей упругих волн и коэффициента пористости, в условиях моделирующих пластовые, для горизонтов В-17, В-18 и В-19 Семиреньковской площади можно качественно прогнозировать изменение их коллекторских свойств в процессе извлечения углеводородов и в случае изменения глубины их залегания по площади.

Результаты проведенных исследований будут использованы для инверсии данных акустических исследований в параметры структуры пустотного пространства и для количественной оценки распределения разных типов пустот в образцах.

Ключевые слова: петрофизика, порода-коллектор, структура пустотного пространства, установка высоких давлений, скорость продольных волн, коэффициент открытой пористости.

УДК 550.382.3

О. Меньшов, канд. геол. наук, докторант
E-mail: menshov.o@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут Геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна,

П. Кампс, д-р філософії, наук. директор лабораторії
Національного центру наукових досліджень
E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr
Факультет Наук про Землю, Університет Монпельє
Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКОМАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЛАБКОУРБАНИЗОВАНИХ МІСТ НА ПРИКЛАДІ ТРУСКАВЦЯ (УКРАЇНА) ТА МОНПЕЛЬЄ (ФРАНЦІЯ)

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

Однією із найбільших загроз для сталого функціонування сучасного європейського міста є його забруднення важкими металами та іншими небезпечними для здоров'я людини хімічними сполуками. Формування та накопичення небезпечних для людини речовин та важких металів є результатом функціонування промислових підприємств, теплоелектростанцій, сміттєспалювальних комбінатів, хімічних підприємств, руху автомобільного транспорту, залізниці і т.д. При цьому сполуки-забруднювачі накопичуються у атмосферному повітрі міст та ґрунтового покриву. У межах запропонованої статті застосування магнітних методів у практиці екологічних досліджень розглядається на прикладі двох європейських міст – Трускавець (Україна) та Монпельє (Франція). У межах Трускавця питома магнітна сприйнятливість (MS) незабруднених глейових ґрунтів $\chi=8\text{--}10 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Забруднені ґрунти, що були відібрані уздовж залізниці характеризуються $\chi=29\text{--}162 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Ґрунти прилеглої до автомобільної дорожньої території характеризуються $\chi=36\text{--}155 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Частотна залежність магнітної сприйнятливості забруднених ґрунтів складає $\chi_{fd}=2\text{--}3$, що є ознакою техногенного впливу та мультидоменного (MD) стану магнітних мінералів. У межах Монпельє підвищені значення ізотермальної залишкової намагніченості (IRM) зразків листя у порівнянні із фоновими значеннями зафіксовані вздовж автомобільних шляхів та ліній трамваю. Магнітні мінералогічні аналізи на основі термомагнітних вивчень, дослідження параметрів петлі гістерезису, визначення кривих ізотермальної залишкової намагніченості, безгістерезисної (ідеальної) намагніченості (ARM), параметру S підтверджують, що основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів є магнетит. У той же час, у незабруднених фонових ґрунтах додатково ідентифікуються висококоерцетивні фази, наприклад, гематит та гетит у однодоменому (SD) стані. Магнітні методи є високоефективними, низьковартісними та швидкісними для загальної оцінки забруднення території і рекомендуються до включення у комплекс робіт при моніторингу небезпечних геологічних процесів та контролі стану довкілля.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, ґрунти, забруднення, магнетизм природних об'єктів.

Вступ.

Однією із найбільших загроз для сталого функціонування сучасного європейського міста є його забруднення важкими металами та іншими небезпечними для здоров'я людини хімічними сполуками. За останніми даними Всесвітньої Організації Здоров'я (ВОЗ) тверді частинки, що переносяться у повітряному просторі та накопичуються у ґрунтового покриву призводять щорічно до 3 млн. додаткових смертей від легеневих, онкологічних та інших захворювань. Дослідження можливості застосування магнітних методів для контролю забруднення атмосфери та ґрунтів, зокрема, частинками розміром близько 10 мкм (PM10), проводяться у світ вже протягом тривалого часу. Магнітні методи демонструють високу ефективність та потенціал, є низько вартісними та швидкісними для оцінки загального забруднення урбанізованих територій [12, 13, 16]. У той же час, значна частина проблеми залишається нерозв'язаною.

Формування та накопичення небезпечних для людини речовин та важких металів є результатом функціонування промислових підприємств, теплоелектростанцій, сміттєспалювальних комбінатів, хімічних підприємств, руху автомобільного транспорту, залізниці і т.д. При цьому сполуки-забруднювачі накопичуються у атмосферному повітрі міст у вигляді пилових фракцій та ґрунтового покриву. Магнітні вимірювання є частковою альтернативою геохімічним методам визначення вмісту важких металів та їх сполук. Мова йде про визначення магнітних властивостей ґрунтів та пилових фракцій атмосферного повітря, що осідають на гладких поверхнях. Розроблені нами методики відбору дослідного матеріалу, з метою подальших магнітних аналізів, запатентовані або знаходяться у режимі патентування [3, 4]. У результаті на основі енергозберігаючої технології можна проводити оцінку загального забруднення урбанізованого середовища міст та промислових регіонів.

У межах запропонованої статті застосування магнітних методів у практиці екологічних досліджень пропонується розглянути на прикладі двох європейських міст – Трускавець (Україна) та Монпельє (Франція). Одержані результати є попередніми, вони були покладені в основу співробітництва між кафедрою геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка та факультетом Наук про Землю Університету Монпельє, Франція. На даний момент заплановані подальші спільні дослідження українських та французьких агломерацій у рамках спільних заявок на фінансування від CNRS (Національний центр наукових досліджень Франції), Європейського Союзу (наприклад, Горизонт 2020), програми НАТО Наука заради миру та безпеки. У подальшому передбачається виробити оптимальну схему проведення магнітних досліджень забруднення довкілля та оцінити загальні тенденції забруднення мегаполісів. Отримані результати можуть бути використані природоохоронними компаніями, центрами моніторингу стану природного середовища міст, геофізичними обсерваторіями.

Метою, запропонованих у даній публікації досліджень, є оцінка загального забруднення Трускавця (Україна) та порівняння даних із отриманими рекогносцирувальними результатами магнітних досліджень у Монпельє (Франція) [6]. В основу ідеї вибору даних територій для проведення магнітних оцінок екологічного навантаження було покладено відносно слабкий рівень урбанізації двох міст. У той же час, ці міста є рекреаційними зонами та вдалим прикладом величезної кількості подібних регіонів в Україні та Франції. Крім того, території навколо даних міст характеризуються подібними особливостями. У першу чергу, мова йде про переважну роль автомобільного транспорту та залізниці (трамвайної мережі) у внеску до загального забруднення території. По-друге, навкруги обох міст концентрується величезна кількість законсервованих шахт, які можуть бути суттєвим джерелом забруднення довкілля, зокрема ґрунтових вод.

Стан проблеми екомагнітних досліджень.

За рахунок відносної простоти та низької вартості реалізації робіт, магнітні методи останнім часом стають ефективним доповненням існуючим традиційним геохімічним опробуванням ґрунтів на вміст важких металів, вивчення кислотності, фізико-хімічних властивостей, їх родючості і т.д. [17]. На більш ранньому етапі свого розвитку магнітні дослідження мали на меті пошук оптимальної технології визначення та контролю концентрації небезпечних речовин в повітряних басейнах та ґрунтах, відбувалося порівняння результатів із класичними підходами, на основі чого, виконувалась побудова методологічних схем та підходів до розв'язання природоохоронних завдань [9, 10]. Автори досліджень фіксували значний вміст у пилових фракціях сферичних магнітних частинок, що були джерелами викидів летючої золи під час спалювання вугілля теплоелектростанціями та викидами металообробних комбінатів. Діаметр магнітних частинок становив 2-10 мкм (PM10 частинки). Коерцетивна сила (Bc) зразків складала 100 Е, відношення залишкової ізотермальної намагніченості (IRM, Mr) до намагніченості насичення (Ms) досягало 0,1. Велика кількість подальших досліджень вказує на високу ефективність магнітного моніторингу екологічного стану середовища та, з великою достовірністю, ідентифікує магнітний матеріал як похідну процесів спалювання, абразії металу, процесів викидів токсичних газів та важких металів, визначає концентрацію PM10 частинок у атмосфері та ґрунтовому покриві [12, 13, 16].

Останні дослідження [11] демонструють тісний взаємозв'язок між магнітною сприйнятливостю та концентрацією у зразках верхнього шару ґрунтів (0-15 см) таких елементів як As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn на прикладі міста Кайфен, Китай. Середній індекс загального забруднення металами (PLI) складає 2,53. У роботі [22] проаналізовано магнітну сприйнятливості (MS) та вміст Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd для 70 зразків забрудненого ґрунту на прикладі басейну Лінфень, Китай. Вміст усіх важких металів виявився вищим у порівнянні із сільськогосподарським регіоном Шансі, Китай, а коефіцієнти кореляції із магнітною сприйнятливостю у ряді випадків становили 0,7-0,9.

Як йшлося вище, важливим є включення дослідження магнетизму ґрунтового покриву у систему моніторингу екологічного стану навколишнього середовища [2]. Зокрема, у роботі [23] розраховано сучасний ефект від забруднення атмосфери комбінатом з виробництва сталевих виробів протягом 1939-1998 років у місті Вава, Онтаріо, Канада. Підвищені значення магнітних параметрів у ґрунтових горизонтах на глибині 5-10 см інтерпретовані як вплив магнітних сферул летючої золи згідно до рози вітрів регіону. Важливим визначенням магнетизму різних типів ґрунтового покриву відзначається в роботі [21], де досліджуються чотири різні типи ґрунтового покриву, що розвинуті на різних підстилаючих породах. В усіх випадках підвищення рівня магнітності та вмісту цинку і свинцю зафіксовано за умови забруднення верхнього горизонту А. При цьому сигнал у десятки разів перевищує фоновий незалежно від літогенного чи педогенного характеру магнетизму незабруднених фонових ґрунтів.

В Україні магнітні методи при дослідженні забруднення техногенно навантажених територій також успішно застосовуються. Серед останніх публікацій, слід відмітити, наприклад, роботу [1], у якій вивчається магнітна сприйнятливості ґрунтів Запоріжжя. Зафіксовані значущі коефіцієнти кореляції із вмістом важких металів та індексом загального забруднення PLI.

Результати екомагнітних досліджень території Трускавця (Україна).

Місто Трускавець є відомим бальнеологічним курортом України та входить до Дрогобицько-Бориславської агломерації. Неподаляк розташоване місто Стебник з величезною кількістю законсервованих шахт, з яких протягом століття вівся видобуток озокериту, калійних солей і т.д. Дослідженню магнетизму ґрунтів у контексті його взаємозв'язків із покладами та міграцією вуглеводнів у межах сусідніх територій Передкарпатського прогину присвячені роботи [14, 15]. У результаті функціонування стебницьких шахт утворилися пустоти та карстові зони, що є небезпечним для ґрунтових вод Трускавця. Іншими основними джерелами забруднення міста є автомобільний трафік та залізниця. Рекогносцирувальні роботи проводилися уздовж залізничної колії та кільцевої дороги Трускавця. Досліджувався верхній горизонт забруднених ґрунтів та відбиралися зразки пилових фракцій з дерев із гладкою поверхнею кори уздовж зазначених маршрутів. Фонові значення пилових фракцій та ґрунтів досліджувалися у межах лісу. Незабруднені ґрунти представлені сірими лісовими, глеуватими слабкомагнітними різновидами. Забруднені ґрунти набули ознак класичних урбаноземів.

Магнітна сприйнятливості була виміряна для близько 100 зразків ґрунтів. Питома магнітна сприйнятливості (χ) незабруднених глейових ґрунтів складала $\chi=8\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг. У той же час, зразки відібрані уздовж залізниці характеризуються $\chi=29\cdot 162\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг. Частина колекції, яка зазнала впливу автомобільного трафіку демонструє значення питомої магнітної сприйнятливості $\chi=36\cdot 155\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг.

Додатково було проведено площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із найбільш навантаженим автомобільним трафіком місцем Трускавця – Стебницьким кільцем. Максимальні значення MS зафіксовані на відстані 0-8 м від автошляху ($\chi=95\cdot 155\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг). Із віддаленням у бік лісу, на відстані 20-25 м від дороги магнітна сприйнятливості спадає ($\chi=35\cdot 25\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг), проте ще не досягає фонових значень, які наведені вище. Для підтвердження апіорного припущення про техногенне забруднення ґрунтів було виміряно і розраховано коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості. Він склав $\chi_{fd}=2\cdot 3$, що характерно саме для забрудненого ґрунтового покриву.

Результати дослідження пилових фракцій, які були відібрані з кори дерев продемонстрували, що об'ємна магнітна сприйнятливості є найвищою у найбільш навантажених точках ($k=18\cdot 48$ од. CI). При чому, у місцях впливу одночасно залізниці та автомобільного трафіку значення вищі. Для зразків, що відбиралися у лісі значення параметру прямують до нуля.

Для ідентифікації магнітного матеріалу, що викликає описані вище екстремуми магнітної сприйнятливості, нами було проведено термомагнітний аналіз зразків забруднених ґрунтів. Форма кривих двох циклів нагрівання та охолодження (Рис. 1, а-б) вказує на основну магнетитову фазу із точкою Кюрі близькою до 580 °С. Пік поруч із відміткою у 500 °С може свідчити про неоформування магнетиту із домішків сульфідів заліза. На їх наявність також вказує незначний злам у кривій нагрівання близько 300 °С (Рис. 1, а). У той же час існування у даних зразках сульфідів заліза є дискусійним і буде обговорене нижче. Другий цикл нагріву (Рис. 1, б) вказує на повне заміщення усіх магнітних фаз на магнетит.

Високоінформативним стало низькотемпературне дослідження магнітної сприйнятливості (Рис. 1, в). Зафіксований перехід Вервея на відмітці -150 °С (123,15 К) є однозначним підтвердженням переважування магнетиту як основного магнетика забруднених ґрунтів Трускавця.

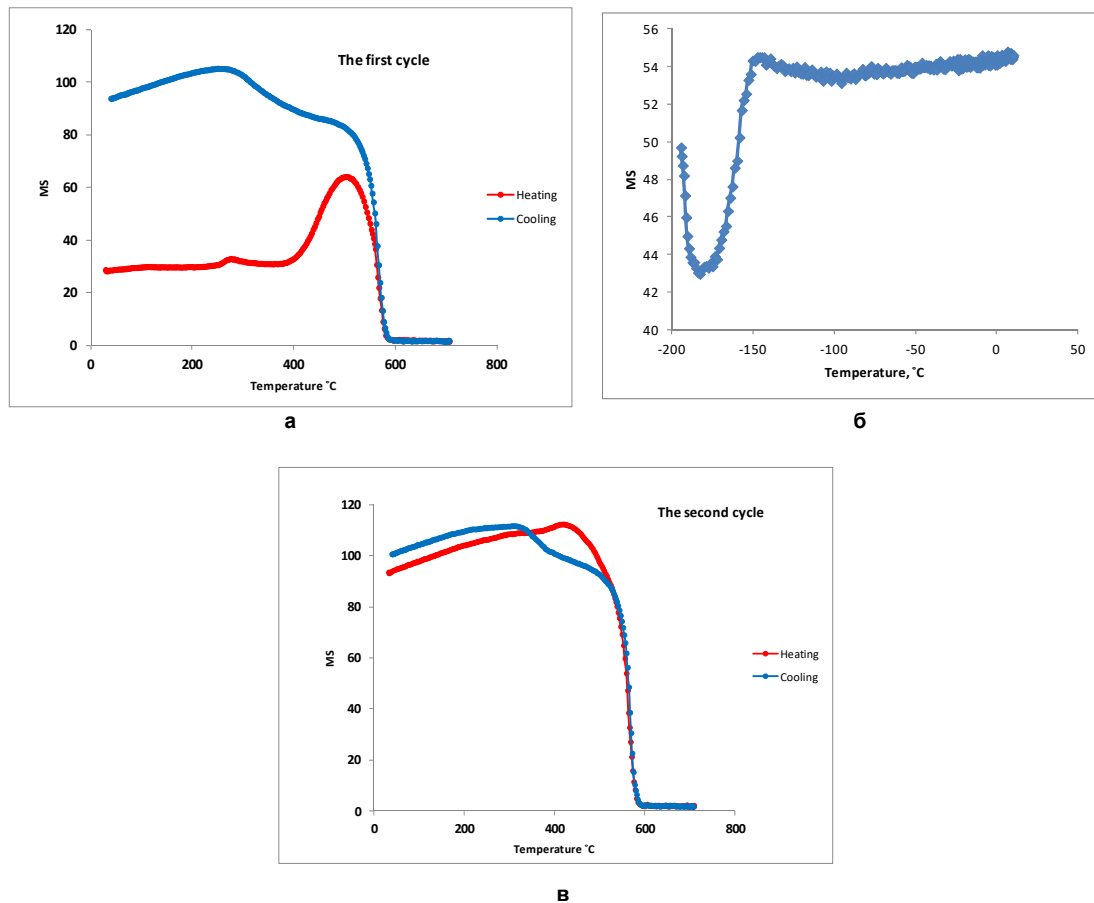


Рис. 1. Результати термомагнітного аналізу забруднених ґрунтів Трускавця, Україна:

а – перший цикл нагріву охолодження, б – другий цикл нагріву охолодження, в – низькотемпературний аналіз

З метою ідентифікації доменного стану магнітних мінералів, які спричиняють підвищення магнітної сприйнятливості у забрудненому ґрунті Трускавця, ми провели визначення параметрів петлі Гістерезису та дослідили криву ізотермальної намагніченості насичення. Для зручності візуалізації відповідні матеріали наводяться у вигляді діаграми Дея [8] (Рис. 2). Дана діаграма ілюструє відношення залишкової намагніченості насичення до намагніченості насичення (M_r/M_s) та залишкової коерцитивної сили до коерцитивної сили

(B_{cr}/B_c). Дана діаграма дозволяє розбавувати стабільні однодоменні (SD) зерна (найчастіше педогенного походження), псевдооднодоменні (PSD) зерна (найбільш розповсюджені магнітні зерна ґрунтів) та мультидоменні (MD) зерна (найчастіше техногенного походження). Як видно з рис. 2, техногенний вплив підтверджується наявністю у складі колекції частиною зразків зі домінуванням мультидоменних або близьких до них псевдооднодоменних магнетитових фаз.

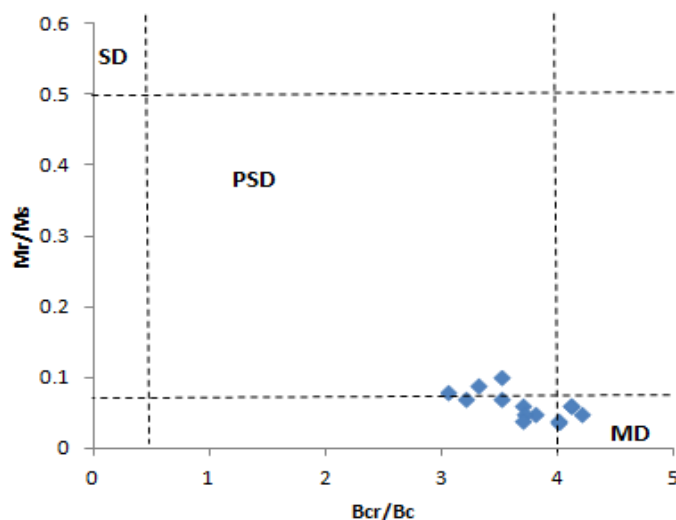


Рис. 2. Діаграма Дея для зразків забруднених ґрунтів Трускавця, Україна

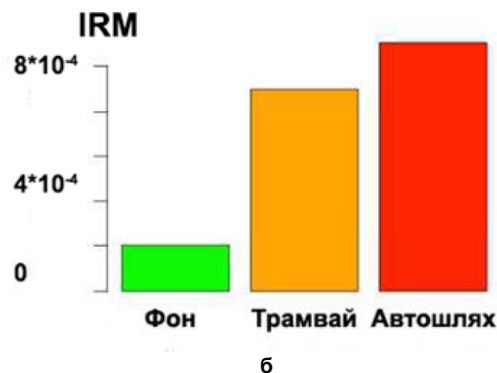
Результати екомагнітних досліджень території Монпельє (Франція).

Мережа трамваїв міста Монпельє є одним із чинників загального забруднення території. Крім того, роботи розпочаті на замовлення муніципалітету в зв'язку із будівництвом нової трамвайної лінії. У даному випадку магнітний метод мав на меті демонстрацію можливостей технології для розв'язання конкретної соціальної проблеми, що пов'язана із несприятливим впливом урбанізації на екологічний стан міста. В якості об'єкта дослідження було обрано листя дерев (*Quercus ilex*, дуб кам'яний), які ростуть уздовж трамвайних ліній міста Монпельє. Було

відібрано сотні зразків, детальні результати їх досліджень будуть опубліковані у наступних роботах. Дослідний матеріал відбирався за наступною схемою: фонові зразки у середині лісопаркової зони, зразки з дерев уздовж трамвайної колії, зразки з дерев уздовж автомобільної магістралі (Рис. 3, а). На даному етапі для ілюстрації приводиться розподіл ізотермальної намагніченості насичення (IRM), виміряної при інтенсивності магнітного поля у 400 мТл (Рис. 3, б). Як видно з рисунку, IRM уздовж трамвайної лінії зростає у кілька разів у порівнянні із фоновими значеннями. Крім того, вздовж автошляху спостерігається подальше омагнічування зразків.



а



б

Рис. 3. Результати екомагнітних досліджень території Монпельє, Франція:

а – приклад точки спостережень поруч із трамвайною зупинкою (дерева – дуб кам'яний);
б – діаграма розподілу ізотермальної залишкової намагніченості зразків листя дубу кам'яного (*Quercus ilex*), що виміряна при напруженості магнітного поля 400 мТл

Обговорення.

При розгляді магнетизму ґрунтів та пилових фракцій слабоурбанізованих територій основним вважається внесок викидів автомобільного транспорту, залізниці, мережі трамвайних ліній. Дійсно, для Трускавця залізниця та рух автотранспорту підвищує значення магнітної сприйнятливості ґрунтів та пилових фракцій атмосфери у десятки разів. Подібна ситуація відзначається і для ізотермальної залишкової намагніченості зразків з Монпельє, проте додається вплив трамвайних ліній. Можна припустити [18], що до складу забруднених ґрунтів входять сферикулі PM10 частинок техногенного походження. Результати вивчення доменного стану магнетиків зразків ґрунтів (Рис. 2) узгоджуються із даними наведеними у публікації [5]. Отже справді, крупнозернистий магнетит є основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів та знаходиться у межах псевдоододоменого-мультидоменого стану. Крім того, спираючись на дані [5], у такому випадку ми можемо стверджувати, що концентрація міді, цинку та свинцю у забруднених ґрунтах та пилових фракціях є вищою у порівнянні із ґрунтами лісової території Трускавця.

Згідно до наведених вище даних (Рис. 1) було визначено, що магнетит є основним магнетиком забруднених ґрунтів. Це підтверджене температурою Кюрі близькою до 580 °С та переходом Вервея біля -150 °С. Проте, існування переходів при температурі 300 °С може інтерпретуватися не лише як наявність піротинової фази, але й як присутність невеликої кількості ододомених зерен [22]. Даний факт дозволяє стверджувати, що у зразках ґрунтів присутній магнітний матеріал первинного педогенного походження, який є основним у випадку фонових незабруднених сірих-лісових, глеєвих ґрунтів лісової ділянки Трускавця.

Результати визначення параметру S, яке є відношенням виміряної нами ізотермальної залишкової намагніченості при напруженості магнітного поля у 1,2 Тл та 0,1 Тл, дозволили розділити магнітом'яку та магнітожорстку компоненти. У випадку забруднених ґрунтів

параметр S наближається до 1, що свідчить про переважання магнітом'якого магнетиту. У той же час, значно нижчі величини параметру S у випадку фонових сірих-лісових, глеєвих ґрунтів говорить про домінування магнітожорсткого висококоерцетивного мінералу, яким можуть бути у даному випадку гематит або гетит [19].

Магнетит у забруднених ґрунтах знаходиться у мультидоменому стані, що підтверджене результатами визначення частотної залежності магнітної сприйнятливості ($\chi_{fd}=2-3$), величина якої є ознакою техногенного забруднення [7].

Висновки.

Перші результати екомагнітних досліджень слабоурбанізованих територій на прикладі Трускавця, України та Монпельє, Франція вказують на подібні риси їх забруднення. Відповідні результати плануються до використання у подальших спільних міжнародних науково-дослідних проектах Україна-Франція.

У межах Трускавця питома магнітна сприйнятливість незабруднених глейових ґрунтів $\chi=8-10 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Забруднені ґрунти, що були відібрані уздовж залізниці характеризуються $\chi=29-162 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. ґрунти прилеглі до автомобільної кільцевої дороги території характеризуються $\chi=36-155 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Частотна залежність магнітної сприйнятливості забруднених ґрунтів складає $\chi_{fd}=2-3$, що є ознакою техногенного впливу та мультидоменого стану магнітних мінералів.

У межах Монпельє підвищені значення ізотермальної залишкової намагніченості зразків листя зафіксовані уздовж автомобільних шляхів та ліній трамваю у порівнянні із фоновими значеннями лісопаркової зони.

Магнітні мінералогічні аналізи на основі термомагнітних вивчень, дослідження параметрів петлі гістерезису, визначення кривих ізотермальної залишкової намагніченості, безгістерезисної намагніченості, параметру S підтверджують, що основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів є магнетит. У той же час, у незабруднених фонових ґрунтах додатково ідентифікуються

висококоерцетивні фази, наприклад, гематит та гетит у однокристалічному стані.

Отримані результати узгоджуються із дослідженнями інших авторів та вказують на високий взаємозв'язок між магнітними параметрами та концентраціями у ґрунтах та пилових атмосферних фракціях небезпечних для здоров'я людини твердих частинок розміром близько 10 мкм (PM10).

Магнітні методи є високоефективними, низьковартісними та швидкісними для загальної оцінки забруднення територій і рекомендуються до включення у комплекс методів при моніторингу небезпечних геологічних процесів та контролі стану довкілля.

Список використаних джерел

1. Бондар К. Магнітний метод при оцінці забруднення ґрунтового покриву Запоріжжя. Еколого-геохімічне обґрунтування / К. Бондар, І. Цюпа, А. Король // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2015. – № 71. – С. 54-60.
2. Вижва С. Радіаційні характеристики радонових вод м. Хмельник / С. Вижва, О. Шабатура, Д. Онишук, І. Онишук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2015. – № 69. – С. 30-38.
3. Спосіб атоммагнітного контролю стану довкілля: патент № 102735 / Меньшов О.І., Сухорада А.В.; заявник та власник патенту Київський національний університет імені Тараса Шевченка, зареєстр. 12.08.2013.
4. Спосіб магнітного контролю забруднення довкілля: заявка на патент № а201512680 / Меньшов О.І., Сухорада А.В.; заявл. 22.12.2015.
5. Bučko M.S. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – case study from Finland / M.S. Bučko, T. Magiera, L.J. Pesonen, B. Janus // Water, Air, & Soil Pollution. – 2010. – № 209, 1-4. – С. 295-306.
6. Camps P. Magnetic biomonitoring of particulate pollution in the city of Montpellier (France): The relative contribution of vehicles and trams / P. Camps, S. Merel, P. Nicol, T. Poidras // 15th Castle Meeting "New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism". – 2016. – С. 13-14.
7. Dearing J.A. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set / J.A. Dearing, K.L. Hay, S.M.J. Baban, A.S. Huddleston, E.M.H. Wellington, P. Loveland // Geophysical Journal International. – 1996. – № 127, 3. – С. 728-734.
8. Day R. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence / R. Day, M. Fuller, V.A. Schmidt // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1977. – № 13. – С. 260-267.
9. Flanders P.J. Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment / P.J. Flanders // Journal of Applied Physics. – 1994. – № 75, 10. – С. 5931-5936.
10. Kapička A. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic / A. Kapička, E. Petrovský, S. Ustjak, K. Macháčková // Journal of Geochemical Exploration. – 1999. – № 66, 1. – С. 291-297.
11. Liu D. Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China / D. Liu, J. Ma, Y. Sun, Y. Li // Catena. – 2016. – № 139. – С. 53-60.
12. Maher B.A. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves / B.A. Maher, C. Moore, J. Matzka // Atmospheric Environment. 2008. – № 42, 2. – С. 364-373.
13. Matzka J. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates / J. Matzka, B.A. Maher // Atmospheric Environment. – 1999. – № 33. – С. 4565-4569.
14. Menshov O. Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva, I. Chobotok, T. Pastushenko // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2015. – № 59, 4. – С. 614-627.
15. Menshov O. Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine) / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva et al. // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2016. – № 60, 4. – С. 731-746.
16. Mitchell R. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses / R. Mitchell, B.A. Maher, R. Kinnerley // Environmental Pollution. – 2010. – № 158. – С. 1472-1478.
17. Pereira P. Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania / P. Pereira, A. Cerda, D. Martin et al. // Science of The Total Environment. – 2017. – № 578. – С. 469-475.
18. Petrovský E. Magnetic particles in atmospheric particulate matter collected at sites with different level of air pollution / E. Petrovský, R. Zbořil, T.M. Grygar et al. // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2013. – № 57, 4. – С. 755-770.
19. Robertson D.J. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK / D.J. Robertson, K.G. Taylor, S.R. Hoon // Applied Geochemistry. – 2003. – № 18, 2. – С. 269-282.
20. Yang T. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping / T. Yang, Q. Liu, Q. Zeng, Chan L. // Environmental Earth Sciences. – 2012. – № 66, 2. – С. 409-420.
21. Szuszkiewicz M. Combination of geo-pedo-and technogenic magnetic and geochemical signals in soil profiles – Diversification and its interpretation: A new approach / M. Szuszkiewicz, A. Łukasik, T. Magiera, M. Mendakiewicz // Environmental Pollution. – 2016. – № 214. – С. 464-477.
22. Yang P. Evaluation of semi-arid arable soil heavy metal pollution by magnetic susceptibility in the Linfen basin of China / P. Yang, J. M. Byrne, H.Li, H.B. Shao // Arid Land Research and Management. – 2016. – № 30, 3. – С. 258-268.
23. Yurtseven-Sandker A. Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada / A. Yurtseven-Sandker, M.T. Cioppa // Water, Air, & Soil Pollution. – 2016. – № 227, 12. – С. 434.

22. Yang, P., Byrne, J. M., Li, H., Shao, H.B. (2016). Evaluation of semi-arid arable soil heavy metal pollution by magnetic susceptibility in the Linfen basin of China. *Arid Land Research and Management*, 30, 3, 258-268.

23. Yurtseven-Sandker, A., Cioppa, M.T. (2016). Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using

magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, 12, 434.

Надійшла до редколегії 15.01.17

O. Menshov, PhD (Geol.), Doctoral Student

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

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,

P. Camps, PhD, Research Director at the CNRS

E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr

Géosciences Montpellier, CNRS and University of Montpellier

Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

PRELIMINARY RESULTS OF THE ENVIRONMENTAL MAGNETIC STUDIES OF THE SLIGHTLY URBANIZED CITIES. CASE STUDY FROM TRUSKAVETS (UKRAINE) AND MONTPELLIER (FRANCE)

The objective of the present study is the assessment of the general trends for the pollution level of slightly impacted urban environment based on energy-efficient technology. The implementation of this approach is proposed on the examples of Truskavets (Ukraine) and Montpellier (France). The ultimate goal is to produce the preliminary data of the pollution with magnetic measurements. Regarding the anthropogenic pollution of the studied area the slight level of the urbanization must be accepted. The first source of the pollution is the road traffic and the second one is the railway and trams network. Non-urbanized landscape of Truskavets is presented by the forests. The soil types are gleysols. The urbanized soils of Truskavets and Montpellier are the urbozems. The magnetic susceptibility for the non-polluted soil in Truskavets is up to $8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, very low values for Ukrainian soils, were registered. At the same time the polluted soils collected from the profiles and under the areal researches near the roadway and railway are characterized by a much higher MS: $\chi = 36 \cdot 162 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. The pollution of the soils were confirmed by the frequency dependence of magnetic susceptibility with the values of $\chi_{fd} = 2-3$. The tree leaves from the Montpellier have much higher isothermal remanence along the roadway and tram line comparing with the natural area. The magnetic mineralogical analyses included thermomagnetic studies, hysteresis and remanence acquisition, ARM, and S ratio. The magnetite-like phase as the main magnetic mineral responsible for the magnetic enchantments in polluted soil was identified. At the same time non-polluted soil may contain the small amount of the single-domain (SD) particles and the high coercivity minerals such as haematite and goethite. Our results are valuable for the environmental management companies, centers of environmental monitoring, and geophysical observatories. Low cost, non-destructive and rapid magnetic techniques are promising in monitoring soil and air pollution both in highly anthropogenic impacted areas and at the slightly urbanized sites.

Keywords: magnetic susceptibility, soil, pollution, environmental magnetism.

A. Меньшов, канд. геол. наук, докторант

E-mail: menshov.o@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна,

П. Кампс, д-р філософії, науч. директор лабораторії

Національного центру наукових досліджень

E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr

Факультет Наук о Землі, Університет Монпельє

Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛАБОУРБАНИЗИРОВАННЫХ ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ ТРУСКАВЦА (УКРАИНА) И МОНПЕЛЬЕ (ФРАНЦИЯ)

Одной из наибольших угроз для устойчивого существования современного европейского города является его загрязнение тяжелыми металлами и другими опасными для здоровья человека химическими соединениями. Формирование и накопление опасных для человека веществ и тяжелых металлов является результатом функционирования промышленных предприятий, теплоэлектростанций, мусоросжигательных комбинатов, химических предприятий, движения автомобильного транспорта, железных дорог и т.д. При этом соединения-загрязнители накапливаются в атмосферном воздухе городов и почвенном покрове. В рамках предлагаемой статьи рассматривается применение магнитных методов в практике экологических исследований на примере двух европейских городов – Трускавец (Украина) и Монпелье (Франция). В пределах Трускавца удельная магнитная восприимчивость (MS) незагрязненных серых лесных, глеевых почв составляет $\chi = 8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Загрязненные почвы были отобраны вдоль железной дороги (характеризуются $\chi = 29 \cdot 162 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) и на территории прилегающей к автомобильной кольцевой дороге ($\chi = 36 \cdot 155 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Частотная зависимость магнитной восприимчивости загрязненных почв составляет $\chi_{fd} = 2-3$, что является признаком техногенного воздействия и мультидоменного (MD) состояния магнитных минералов. В пределах города Монпелье повышенные значения изотермальной остаточной намагниченности (IRM) для образцов листьев зафиксированы вдоль автомобильных дорог и линий трамвая (по сравнению с фоновыми значениями лесопарковой зоны). Магнитные минералогические анализы на основе термомагнитных исследований, изучения параметров петли гистерезиса, определения кривых изотермальной остаточной намагниченности, безгистерезисной (идеальной) намагниченности, параметра S, подтверждают, что основным магнитным минералом загрязненных почв является магнетит. В то же время, в незагрязненных фоновых почвах дополнительно идентифицируются высококоерцетивные фазы, например, гематит и гетит в однодоменном (SD) состоянии.

Магнитные методы являются высокоэффективными, дешевыми и экспрессными для общей оценки загрязнения территорий и рекомендуются к включению в комплекс работ при мониторинге опасных геологических процессов и контроле состояния окружающей среды.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, почва, загрязнение, магнетизм природных объектов.

УДК 550.382.3:553.98(477)

В. Друкаренко, м. н. с.

E-mail: Tory_D@ukr.net,

М. Орлюк, д-р геол. наук, зав. отд. геомагнетизма

E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua,

Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины
пр. Палладина 32, Киев, 03680, Украина

О СТРУКТУРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ И СКОПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С МАГНИТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО АВЛАКОГЕНА

(Рекомендовано членом редакционной коллегии канд-м геол. наук О.И. Меньшовым)

Одним из методов прогнозирования путей миграции и мест накопления углеводородов является совместный анализ магнитной неоднородности и разломно-блоковой тектоники земной коры. Исследования магнитной восприимчивости пород выявили достаточно высокие возможности метода для решения широкого круга задач: интерпретации локальных магнитных аномалий над месторождениями углеводородов, расчленения и изучения литологии осадочных разрезов, выделения и маркирования по площади опорных магнитных горизонтов, оценки степени окислительно-восстановительных процессов. Глубинно-магнитный аспект нефтегазоносности земной коры обусловлен новообразованием или преобразованием железосодержащих минералов в магнитные разности (в основном, магнетит, самородное железо и пирротин) в зонах глубинных разломов под воздействием восстановительных флюидов. В осадочном чехле увеличение или уменьшение величины магнитной восприимчивости пород под воздействием углеводородов зависит от состава соединений железа, образование которых контролируется геохимическими и термобарическими условиями. Все окислы железа восстанавливаются до магнетита (ферромагнетик), а сульфиды – в пирит (парамагнетик). Выполнены лабораторные исследования влияния углеводородов на магнитную восприимчивость образцов пород из 3 скважин под воздействием температуры и минералогические исследования для идентификации магнитных минералов. Породы представлены аргиллитами, песчаниками, алевролитами, известняком, конкрецией. Наблюдается разный характер поведения магнитной восприимчивости, в большинстве образцов происходит повышение данного параметра насыщенных и ненасыщенных пород. Исследовался минералогический состав известняка (мерзеля) с помощью растрового электронного микроскопа – микроанализатора РЭММА-202М. Обнаружить железосодержащий минерал не удалось, что связано, скорее всего, с низкой разрешающей способностью прибора, поскольку, например, пирротин, может находиться в тонкодисперсном состоянии. Повышение магнитной восприимчивости пород в процессе нагрева может быть объяснено переходами пирротиновой фазы, а также, возможно, присутствием маггемитовой фазы и ее переходом в гематит. Также были проанализированы, полученные авторами, экспериментальные данные о плотности и магнитной восприимчивости пород осадочного чехла и докембрийского фундамента из 8 сверхглубоких скважин исследуемого региона. Кроме осадочных, породы представлены базальтами, конкрециями, гнейсами и гранитогнейсами. Магнитная восприимчивость и плотность образцов пород изменяются в широких пределах. В ряде скважин были обнаружены интервалы с пониженными плотностями и повышенной магнитной восприимчивостью пород, а также области разуплотнения аргиллитов глубже 5000 м. В связи с приуроченностью данных областей к локальным и глубинным разломам, а также узлам их пересечения, эти области можно рассматривать в качестве перспективных на глубинные углеводороды.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, Днепровско-Донецкий авлакоген, нефтегазоносность, углеводороды.

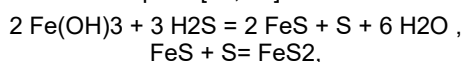
Введение. Актуальность вопроса поиска месторождений углеводородов на территории Украины не вызывает сомнений. В последнее время уделяется большое внимание теории абиогенного происхождения углеводородов, которые контролируются глубинными разломами [8, 19, 20, 24, 25 и др.]. Поэтому поиск их "глубинных" корней, а также "мест реализации" в приповерхностных условиях является актуальной задачей. Одним из методов прогнозирования путей миграции и мест накопления углеводородов является совместный анализ магнитной неоднородности и разломно-блоковой тектоники земной коры [1, 2, 21]. Исследования магнитной восприимчивости пород, выполненные в последнее время, выявили достаточно высокие возможности метода для решения широкого круга задач: интерпретации локальных магнитных аномалий над месторождениями углеводородов, расчленения и изучения литологии осадочных разрезов, выделения и маркирования по площади опорных магнитных горизонтов, оценки степени окислительно-восстановительных процессов [6, 11, 13, 14, 16, 31, 33 и др.]. Большое количество работ отечественных и зарубежных авторов посвящено изучению магнитных свойств почв, их вклада в формирование локальных магнитных аномалий, что может быть использовано при ультрадетальных геомагнитных исследованиях на нефтегазовых месторождениях [29, 30, 33-35, 37]. Северо-западная часть Днепровско-Донецкого авлакогена (ДДА) представляет собой хороший объект для таких исследований, поскольку здесь имеется большое количество скважин, которые вскрыли глубокие горизонты не только карбона и девона, но и кристаллического фундамента. Залежи нефти и газа в этом регионе связываются с палеозойскими отложениями осадочного чехла,

а также, предположительно, с докембрийскими образованиями фундамента [3].

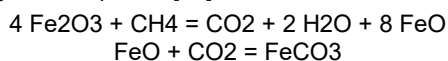
Связь магнитных аномалий с нефтегазоносностью земной коры. Источники локальных аномалий нефтегазоносных регионов Украины трактуются как "места реализации" глубинных разломов (или их разветвлений) режима растяжения земной коры в кристаллическом основании и низах осадочного чехла, т.е. пути прохождения по ним глубинных углеводородов. Источники положительных региональных магнитных аномалий приурочиваются к мантийным глубинным разломам, с которыми в первом приближении связаны разновозрастные рифтогенные и краевые прогибы [13, 21]. При этом обнаружена зависимость фазового состава углеводородов по отношению к региональным источникам. Газовые и газоконденсатные месторождения располагаются над их апикальными частями, нефтегазовые и нефтегазоконденсатные – над зонами сочленения со слабомагнитными блоками коры, а нефтяные – над слабомагнитными участками консолидированной коры. Открытие явления "зараженности" коллекторов нефти и газа дисперсными самородно-металлическими частицами – трассерами суперглубинных флюидов" [8] и результаты экспериментов по преобразованию железосодержащих минералов [16, 17, 28] дают новые возможности установления генетической и структурной связей магнитной неоднородности консолидированной и осадочной частей земной коры с месторождениями углеводородов и путями их миграции. Глубинно-магнитный аспект нефтегазоносности земной коры обусловлен новообразованием или преобразованием железосодержащих минералов в магнитные разности (в основном, магнетит Fe_3O_4 , самородное же-

лезо Fe и пирротин FeS) в ослабленных зонах Земли (зонах глубинных разломов) под воздействием восстановительных флюидов [15, 22, 23]. Непосредственно в осадочном чехле увеличение или уменьшение величины магнитной восприимчивости пород под действием углеводородов зависит от состава соединений железа, образование которых контролируется геохимическими и термобарическими условиями [32]. В присутствии углеводородов образуются магнетит, пирротин, пирит и сидерит, а гематит разрушается. Относительная интенсивность магнитных аномалий над скоплениями углеводородов зависит от того, какое количество магнетита образовалось при разрушении гематита и формировании соединений серы в виде пирротина, поскольку они представляют наиболее магнитные минералы. Магнитная восприимчивость пород, подвергшихся воздействию углеводородов, может увеличиваться или уменьшаться, поскольку все окислы железа восстанавливаются до магнетита (ферромагнетик), а сульфиды преобразуются в пирит (парамагнетик). Поэтому, в локальном аномальном магнитном поле скопления углеводородов могут выделяться как положительными, так и отрицательными аномалиями.

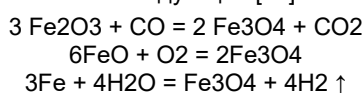
Над месторождениями нефти и газа существуют зоны восстановления и окисления [10]. Зона восстановления характеризуется меньшим количеством магнетита и ферромагнитных минералов. Возможность появления магнетита в породах во время эпигенетической стадии под воздействием гидротермальных растворов (в том числе углеводородных флюидов), которые фильтруются сквозь породу, определяется концентрацией кислорода и серы, поскольку минеральная форма железа в процессах метасоматического преобразования зависит от соотношения химических потенциалов этих элементов. При высокой концентрации серы происходит образование пирита [10, 12]:



что приводит к уменьшению магнитной восприимчивости. При дальнейшем насыщении среды серой пирротин переходит в пирит. Таким образом, под воздействием потоков углеводородов граница между пиритом и пирротином, а также область местонахождения минералов пирротинового ряда постепенно смещаются к поверхности. Подобное смещение границы между областями с повышенными и пониженными значениями магнитной восприимчивости может быть одной из причин аномальных временных изменений геомагнитного поля. К уменьшению χ в зоне восстановления также приводит превращение окиси железа в закись под действием углеводородов [12]:



Подобные изменения химического состава и магнитных характеристик пород поблизости нефтегазовых месторождений, а также то, что сама нефть является диамагнетиком ($\chi = -10 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС), могут обуславливать существование над месторождениями отрицательных аномалий (ΔT)а. Зоны окисления характеризуются повышенным содержанием трехвалентного железа. При высокой концентрации кислорода в углеводородных флюидах, фильтрующихся через породу, происходит восстановление окислов железа в магнетит. К характерным реакциям, происходящим в зоне окисления, относятся следующие [12]:



Таким образом, магнитная восприимчивость пород в зонах окисления является большей, чем во вмещающей среде, что может вызывать существование положительных аномалий (ΔT)а над месторождениями. В общем случае амплитуда и знак локальных аномалий (ΔT)а над месторождениями углеводородов зависят от соотношения мощностей зон восстановления и окисления. Количественные оценки показывают, что при заметном преобладании одной из зон амплитуда локальных аномалий (ΔT)а может достигать нескольких десятков нанотесла.

Исследование влияния углеводородов на магнитную восприимчивость горных пород. Свойство углеводородов изменять магнитную восприимчивость пород, было подтверждено лабораторными экспериментами на образцах осадочных и кристаллических пород Предкарпатского прогиба [28]. Магнитная восприимчивость всех типов пород, насыщенных нефтью, существенно увеличивалась (для отдельных образцов в 20 раз) при температурах выше 225°C, а новообразование магнетита было доказано с помощью рентгеноструктурного анализа. Эксперименты проводились одновременно на насыщенных и ненасыщенных образцах. Они нагревались поэтапно для того, чтобы ускорить преобразование минералов под влиянием углеводородов, которые в естественной среде проходят за огромный промежуток времени, который может охватывать сотни тысяч лет. Значимое увеличение величин магнитной восприимчивости осадочных пород экспериментально установлено и для образований осадочного чехла Центральной депрессии ДДА [13,16]. Эти наблюдения и эксперименты свидетельствовали только о восстановлении окислов железа в магнетит. Но в земной коре существуют различные соединения с железом, образование которых контролируется геохимическими и термодинамическими условиями той или иной стадии диагенеза. Поэтому необходимо рассмотреть их преобразования под воздействием углеводородов.

Подобный эксперимент также был проведен авторами на образцах осадочных и кристаллических (гнейсы, гранитогнейсы) пород, отобранных из керна Борковской 15 (4776 м), Строевской 333 (3803 м), Нежинской 338 (5337 м) и Зорьковской 370 (6200 м) сверхглубоких скважин, пробуренных в северо-западной части ДДА [17]. Один из двух подготовленных образцов штуфа закладывался в углеводород (газолин) сроком на один месяц, другой исследовался без влияния флюида. После выдержки образца в газолине перед началом эксперимента его магнитная восприимчивость еще раз измерялась на магнитометре. Экспериментальные исследования заключались в терморазмагничивании или термочистке образцов пород, что представляет собой нагрев и выдержку последних в практически немагнитном пространстве. Были выбраны ступени нагрева 75, 100, 150, 200, 250, 300, 3500С. Образцы выдерживались в компенсированном поле от 25 до 15 мин в зависимости от температуры. После каждого нагрева на приборах KLY-1 и МГ-2 измерялась магнитная восприимчивость образцов, которая фиксировала постоянство состава магнитной фракции пород в процессе эксперимента. Анализ результатов показал, что для аргиллитов, алевролитов, мергелей, туфобрекчий, песчаников обнаружено увеличение магнитной восприимчивости, но в ряде случаев не наблюдалось аномального ее возрастания, а у некоторых даже происходило уменьшение. Весьма разнообразный характер поведения магнитной восприимчивости может быть объяснен исходным составом пород, наличием и формами нахождения железа. В случае, если железа в породе нет либо оно полностью находится в составе породообразу-

ющих минералов, изменение магнитной восприимчивости может происходить только за счет его привнесения флюидом или выделения из минералов, что возможно при температурах более 500°C. В случае нахождения железа в виде аксессуарных минералов, добавок или растворимом состоянии (Fe, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe(OH)₂), с изменением окислительно-восстановительной среды будет происходить минеральное преобразование с соответствующим изменением магнитной восприимчивости.

Проведенный эксперимент, к сожалению, не дает ответа какой магнитный минерал образовался под воздействием температуры. Авторами была предпринята попытка с помощью минералогических исследований решить данную проблему.

Для решения поставленной задачи повторно был проведен вышеописанный эксперимент на 20 образцах осадочных пород из Борковской, Зорьковской и Савинковской скважин. Породы относятся к межсолевому комплексу верхнего девона (Борковская скважина), визейскому ярусу нижнего карбона (Зорьковская и Савинковская скважины) и представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняком, конкрецией. Измерения магнитной восприимчивости проводились на магнитометре MFK1-B с чувствительностью 6*10⁻⁸СИ. В результате исследований были построены графики изменений магнитной восприимчивости насыщенного и сухого образца под воздействием температуры. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что в большинстве образцов происходит повышение магнитной восприимчивости насыщенных и ненасыщенных пород. Резкими скачками восприимчивости после 3000С характеризуются алевролит, песчаник и аргиллит Зорьковской скважины (Рис. 1). В образцах Савинковской скважины χ увеличивается незначительно за исключением алевролита, где восприимчивость обоих образцов плавно возрастает уже при температуре 2000С с 24*10⁻⁵ СИ до 560*10⁻⁵ СИ. Более разнообразный характер поведения магнитной восприимчивости пород Борковской скважины. В песчанике наблюдается синхронное увеличение χ обоих образцов до 2000С, а после – синхронное уменьшение данного параметра (Рис. 2). В образце алевролита происходит незначительное повышение восприимчивости насыщенного газолином образца после 3000С, в то время

как χ сухого образца незначительно уменьшается при температуре 2500С.

Резким повышением магнитной восприимчивости после 2000С характеризуется насыщенный газолином образец известняка (глубина 3500 м), у ненасыщенного увеличение происходит не столь интенсивно и начинается после 2500С (Рис. 3). В связи с этим, данный образец был выбран для минералогических исследований с попыткой идентификации новообразованного магнитного минерала. С этой целью были изготовлены 3 прозрачных шлифа из исходного керна, ненасыщенного и насыщенного газолином гретых образцов для сравнения их минералогического состава. Исследования проводились в НИИ "Институт геологии" Киевского национального университета им. Тараса Шевченко с помощью растрового электронного микроскопа – микроанализатора РЭММА-202М, который объединяет в себе функции растрового электронного микроскопа с высокой разрешающей способностью и рентгеновского микроанализа. Прибор используется для исследования микрорельефа поверхности твердого тела во вторичных, отраженных и поглощенных электронах, определения элементного состава в микрообъемах с помощью метода рентгеноспектрального анализа (использовался режим EDS – энергия рентгеновского излучения). В результате было определено, что минералогический состав исходного образца известняка более характерен для мергеля и основными породообразующими минералами его являются кальцит, хлорит, гидрослюда. Среди обломочных пород встречаются кварц, плагиоклаз, калиево-натриевый полевой шпат, апатит, хромшпинелит. В качестве новообразованных минералов можно отметить пирит, ликоксен (рутил), бритоилит, сфалерит (Рис. 4). Образец без газолина характеризуется идентичным минералогическим составом, также здесь обнаружены сфен и гипс (Рис. 5). Такой разнообразный минералогический состав, не характерный для карбонатных пород, может свидетельствовать о близком расположении источника сноса магматических пород щелочного состава. Это подтверждается наличием в Борковской скважине высокомагнитных песчаников (до 10000*10⁻⁵СИ), а также широко развитой в этом регионе магматической деятельностью [9]. Заметим также, что скважина расположена в центре локальной магнитной аномалии (Рис. 6).

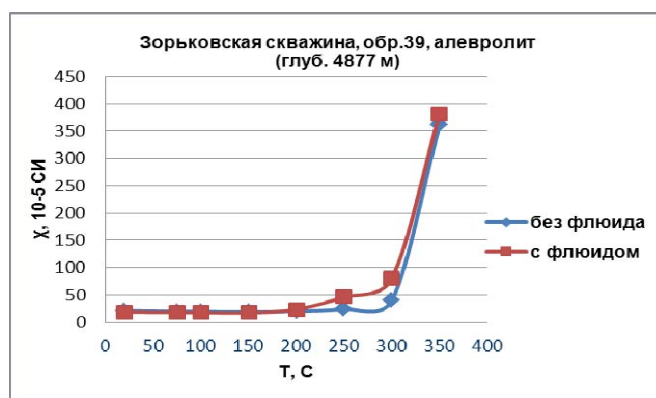


Рис. 1. Изменение магнитной восприимчивости образцов алевролита Зорьковской скважины с газолином и без газолина под действием температуры

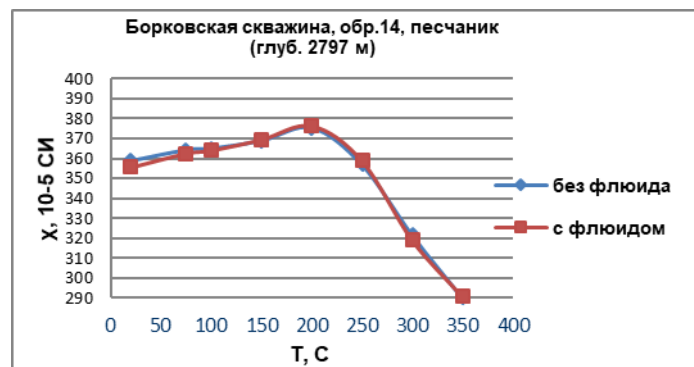


Рис. 2. Изменение магнитной восприимчивости образцов песчаника Борковской скважины с газOLIном и без газOLIна под действием температуры

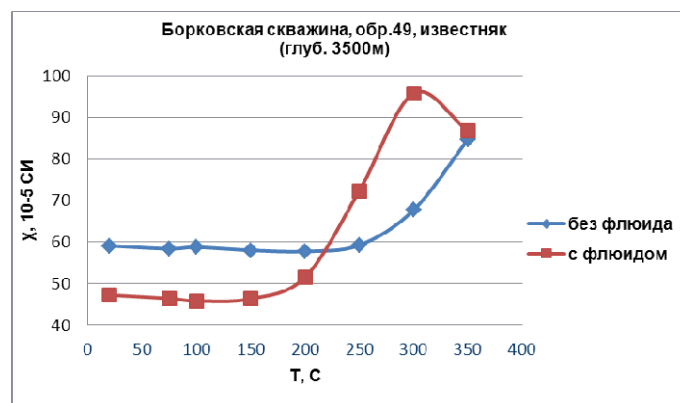


Рис. 3. Изменение магнитной восприимчивости образцов известняка Борковской скважины с газOLIном и без газOLIна под действием температуры

Обнаружить железосодержащий минерал, который мог бы преобразоваться под действием температуры, не удалось. Это связано, скорее всего, с низкой разрешающей способностью использованного метода, поскольку, например, пирротин может находиться в тонкодисперсном состоянии, и может быть зафиксирован только с помощью более чувствительного электронного сканирующего микроскопа. При исследовании шлифов исходного и нагретого образцов на рудном микроскопе, также не обнаружено каких-либо изменений представленных в породе зерен пирита (FeS) при температурном воздействии. Практически все минералы, упомянутые выше, являются диамагнетиками либо слабыми парамагнетиками (рутил) и не вносят заметный вклад в магнитную восприимчивость пород. Наибольшую роль в магнитной восприимчивости данного образца играют, по-видимому, пирит, хлорит, гидрослюда (биотит), поскольку они являются более сильными парамагнетиками. Можно сделать предположение, что в пределах температур 200-300°C изменения магнитной восприимчивости объясняются переходами пирротиновой фазы. Согласно [35] оказывать влияние также могут зерна, которые при комнатной температуре были в однодоменном состоянии, а при нагреве перешли в суперпарамагнитное состояние. Увеличение магнитной восприимчивости, возможно, может быть связано с присутствием маггемитовой фазы и ее высокотемпературным переходом в гематит [30].

Магнитная неоднородность коры в связи с нефтегазоносностью. В исследуемом регионе пробурены пара-

метрические и поисковые скважины: Строевская 333 (глубина – 3803 м), Борковская 15 (4776 м), Нежинская 338 (5337 м), Зорьковская 370 (6200 м), Борзнянская 303 (4508 м), Гужевская 305 (5501 м), Савинковская 361 (6005 м) и Петровская 1 (5501 м)), позволившие получить важную информацию о составе и структуре осадочного чехла, а также его взаимоотношения со структурами фундамента. В целом разрез коры района исследований представлен аргиллитами, алевролитами, песчаниками, известняками, мергелями, туфопесчаниками, туфоаргиллитами, доломитами, туфобрекчиями, гнейсами, гранитогнейсами и базальтами. Гнейсы и гранитогнейсы представляют докембрийский фундамент. Значения объемной магнитной восприимчивости разных типов пород изменяются в широких пределах: аргиллиты – от $1,8 \cdot 10^{-5}$ (Гужевская) до $4980 \cdot 10^{-5}$ СИ (Строевская); алевролиты – от $5 \cdot 10^{-5}$ (Нежинская) до $11450 \cdot 10^{-5}$ СИ (Борковская); известняки – от 0 (Нежинская) до $340 \cdot 10^{-5}$ СИ (Зорьковская); песчаники – от $1,9 \cdot 10^{-5}$ (Нежинская) до $11666 \cdot 10^{-5}$ СИ (Борковская); туфобрекчии – от $13 \cdot 10^{-5}$ до $84 \cdot 10^{-5}$ СИ (Борковская); мергели – от $3,6 \cdot 10^{-5}$ до $364 \cdot 10^{-5}$ СИ (Борковская); туфопесчаники – от $7,4 \cdot 10^{-5}$ (Борковская) до $8913 \cdot 10^{-5}$ СИ (Строевская). Базальты Борковской скважины отличаются высокими значениями χ – до $11110 \cdot 10^{-5}$ СИ. Значения χ гнейсов Строевской скважины колеблются в пределах $(1,9 - 95) \cdot 10^{-5}$ СИ, гранитогнейсов – $(4,2 - 104) \cdot 10^{-5}$ СИ. Исследовалась также плотность пород [17,18].

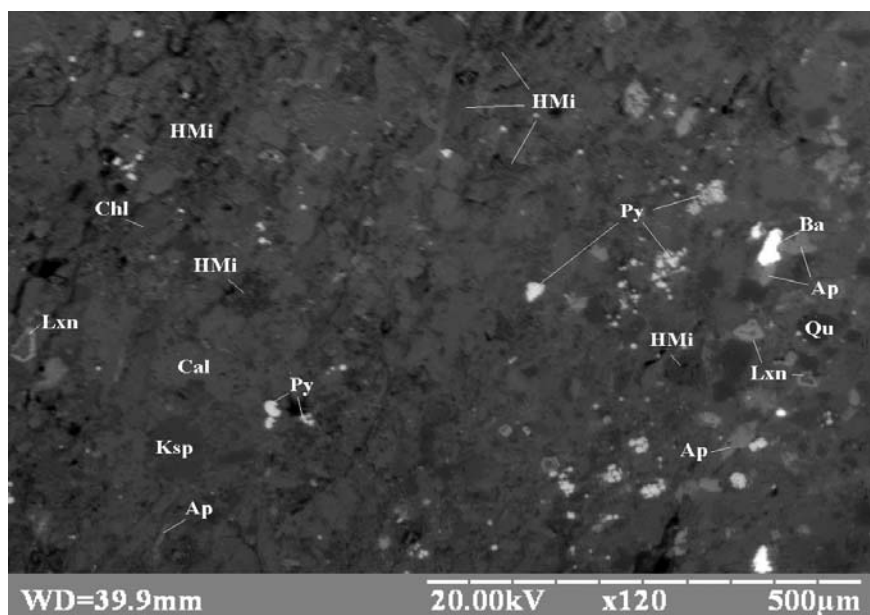


Рис. 4. Изображение исходного образца известняка (мергеля) в режиме обратно рассеянных электронов:

Chl – хлорит, Cal – кальцит, HMi – гидрослюда, Qu – кварц, Ksp – калиево-натриевый полевой шпат, Ap – апатит, Py – пирит, Lxn – ликоксен (вторичный рутил), Ba – барит

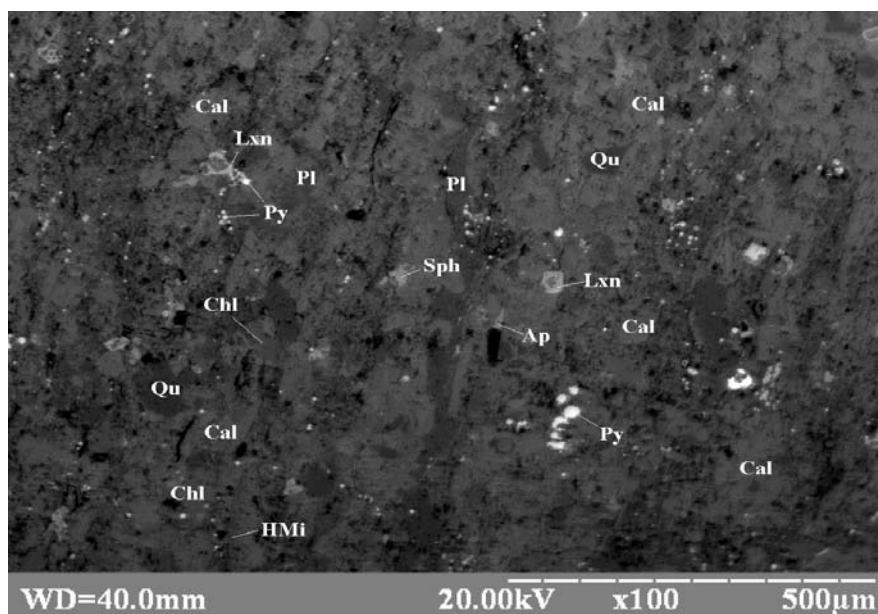


Рис. 5. Изображение нагретого образца известняка (мергеля) (без газаolina) в режиме обратно рассеянных электронов:

Chl – хлорит, Cal – кальцит, HMi – гидрослюда, Qu – кварц, Pl – плагиоклаз, Ap – апатит, Py – пирит, Lxn – ликоксен (вторичный рутил), Sph – сфен

Карта локальной компоненты аномального магнитного поля северо-западной части Днепровско-Донецкого авлакогена позволяет проанализировать ее на качественном уровне на предмет связи с намагниченностью осадочного чехла и кристаллического фундамента (Рис. 6). Максимальные его значения (до 800 нТл) характерны для Черниговского магнитного максимума. Исследуемые скважины расположены в областях максимумов, минимумов и градиентных зон локальных магнитных аномалий.

дамента (Рис. 6). Максимальные его значения (до 800 нТл) характерны для Черниговского магнитного максимума. Исследуемые скважины расположены в областях максимумов, минимумов и градиентных зон локальных магнитных аномалий.

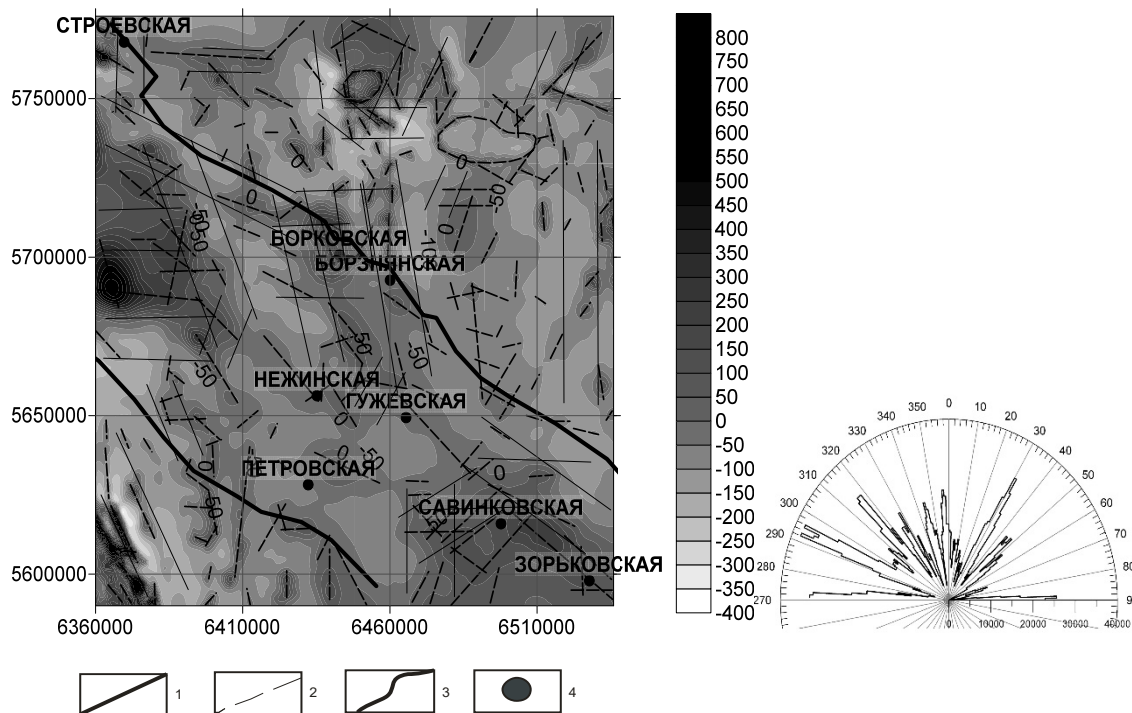


Рис. 6. Карта локальной компоненты аномального магнитного поля для территории северо-западной части ДДА и гистограмма азимутов простираения магнитолинеаментов:

1 – 2 региональные и локальные магнитолинеаменты, 3 – граница ДДА, 4 – скважины

Выделение локальных магнитолинеаментов осуществлялось с помощью пакета фильтров программы Oasis Montaj путем трансформации аномального магнитного поля для исследуемой территории [4, 36]. С помощью программы Grapher построена гистограмма распределения локальных магнитолинеаментов, где выделяются следующие направления: $90(270)\pm 10^\circ$, $295\pm 10^\circ$, $315\pm 10^\circ$, $335\pm 5^\circ$, $345\pm 5^\circ$, $0\pm 10^\circ$, $15\pm 5^\circ$, $30\pm 8^\circ$, $50\pm 10^\circ$, $75\pm 5^\circ$.

В пределах юго-восточной части ДДА обнаружены углеводороды глубинного происхождения с промышленной нефтегазоносностью архей-протерозойского фундамента ее северного борта [2, 27]. В этом отношении исследования магнитной восприимчивости и плотности разрезов скважин северо-западной части ДДА, часть из которых (Строевская, Борковская и Борзнянская) приурочены к северному краевому глубинному разлому, могут свидетельствовать о наличии условий для поступления и накопления глубинных углеводородов. Это может подтверждаться расположением упомянутых скважин в непосредственной близости к локальным и региональным магнитолинеаментам. Следует заметить также, что эти скважины расположены поблизости и в центре локальных магнитных аномалий (Рис. 6). В частности для Строевской скважины наблюдается некоторое увеличение плотности пород с глубиной от $\sigma = 2,25$ г/см³ до $\sigma = 2,8$ г/см³, при менее значимом уменьшении их магнитной восприимчивости. Но в интервале 1700-2000 м плотность аргиллитов и известняков несколько уменьшается с глубиной, а их магнитная восприимчивость увеличивается. Такая зависимость при постоянном составе пород, возможно, объясняется геохимическими причинами, скорее всего, наличием флюида. Частичным подтверждением этого могут служить приливы нефти на расположенных поблизости Гриборуднянском и Ловинском участках [5]. Зорьковская скважина открыла залежь углеводородов в горизонте В-22 и Червонозаводско-Рудовскую зону нефтегазоаккумуляции, здесь можно отметить некоторое уменьшение плотности и увеличение магнитной восприимчивости визейских аргиллитов,

песчаников и известняков глубже 5500 м. Заметим, что скважина расположена на пересечении локальных разломов кристаллического фундамента, которые могут служить подводящими каналами для поступления углеводородов. Для Борзнянской параметрической скважины до глубины 3400 м наблюдается увеличение плотности песчаников и аргиллитов с глубиной, а также менее видимое уменьшение магнитной восприимчивости. Обращают на себя внимание повышенные значения магнитной восприимчивости пород низов (3400-3650 м) верхнего надсолевого отдела девона. Также с глубины 4100 м и до конца разреза наблюдается разуплотнение песчаников и туфопесчаников на фоне повышенной магнитной восприимчивости. В районе расположения скважины в междусоловых терригенных отложениях девона на Кинашевской и Ядутовской площадях были обнаружены приливы нефти [5]. Плотность песчаников озерскохованской свиты верхнего девона Гужевской скважины с глубиной незначительно уменьшается на фоне увеличения их магнитной восприимчивости. Интервалы с разуплотненными породами, которые сопровождаются повышенными значениями магнитной восприимчивости, выделяются на разных глубинах и в других скважинах. В соответствии с работами [15, 26], такие участки могут быть потенциально нефтегазоносными. С другой стороны, повышенные значения плотности и магнитной восприимчивости образцов Борковской скважины, а также некоторых пород из других скважин, можно объяснить их насыщенностью железистыми минералами, в частности, магнетитом [7]. Если учесть наличие в кристаллическом фундаменте региона достаточно плотных и магнитных образований, то выглядит естественным формирование в результате их разрушения аналогичных осадочных пород. Также обогащение магнитными и плотными минералами может быть связано с магматической и вулканической деятельностью, широко развитой в этом регионе [9]. Выделяются области разуплотнения аргиллитов глубже 5000 м, вплоть до кристаллического фундамента, на фоне слегка повышенной магнитной восприимчивости. Это создает предпосылки для образования на этих

глубинах, а также, вероятно, в кристаллическом фундаменте, условий для скопления глубинных углеводородов.

Выводы. Теоретически и экспериментально обосновано, что в пределах нефтегазоносных областей и провинций нефтегазовые месторождения и перспективные структуры контролируются расположением региональных и локальных источников магнитного поля (ΔT), а также разломно-блоковой тектоникой консолидированной коры и глубинными разломами. Для осадочных пород северо-западной части Днепровско-Донецкого авлакогена экспериментально показана трансформация магнитных минералов при температурном воздействии на насыщенные углеводородным флюидом породы. В Строевской, Зорьковской, Борзнянской, Савинковской, Гужевской скважинах обнаружены интервалы пород с пониженными плотностями и повышенной магнитной восприимчивостью. В Зорьковской, Петровской, Савинковской, Нежинской скважинах наблюдается снижение плотности аргиллитов на фоне повышенных значений магнитной восприимчивости глубже 5000 м вплоть до кристаллического фундамента. В совокупности с приуроченностью выделенных областей к глубинным и локальным разломам, а также узлам их пересечения они могут рассматриваться в качестве перспективных на глубинные углеводороды, как в пределах осадочного чехла, так и кристаллического фундамента.

Благодарность. Авторы выражают благодарность профессору кафедры минералогии, геохимии и петрографии НИИ "Институт геологии" Киевского национального университета им. Тараса Шевченко д-ру геол. н. А.В. Митрохину за активную помощь в проведении минералогических исследований, д-ру геол. н. С.Е. Шнюкову за проявленное содействие, а также рецензентам за полезные советы и ценные замечания.

Список использованных источников

- Багдасарова М.В. Современная геодинамика и новые критерии поисков нефтегазовых месторождений / М.В. Багдасарова // Недропользование XXI век. – 2013. – №4. – С. 56-61.
- Гейко Т.С. Тектоно-геодинамические критерии нефтегазоносности кристаллического фундамента северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена / Т.С. Гейко, А.Е. Лукин, В.В. Омелченко, О.Г. Цеха // Современные методы сейсморазведки при поисках месторождений нефти и газа в условиях сложнопостроенных структур (Сейсмо – 2013): материалы 4-й Международной научно-практической конференции. – АР Крым, 2013.
- Доленко Г.Н. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Эндеогенные процессы и нефтегазоносность // Г.Н. Доленко, З.М. Ляшкевич, М.А. АLEXИНА и др. АН УССР. Институт геологии и геохимии горючих ископаемых. – К.: Наукова думка, 1991. – С. 67-82.
- Друкаренко В.В. Аналіз фізичних параметрів порід осадового чохла та магнітолінеamentів північно-західної частини Дніпровсько-Донецького авлакогена стосовно прогнозування глибинних вуглеводнів / В.В. Друкаренко, Т.В. Розыган // Сучасні проблеми геологічних наук: матеріали VI Всеукраїнської молодіжної наукової конференції – школи. – Київ, 2016. – С. 108-111.
- Іванишин В.А. Структурно-стратиграфічні і літолого-геохімічні критерії нафтогазоносності глибокозанурених відкладів Дніпровсько-Донецької западини: дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.17 / В.А. Іванишин. – К., 2005. – 464 с.
- Крива І.Г. Літомагнітні комплекси нафтогазоносних відкладів палеозою північно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини: дис. ... канд. геол. наук: 04.00.17 / І. Г. Крива. – Л., 2011. – 144 с.
- Курников Ю.А. Магнитно-минералогическая характеристика, классификация и использование природных магнитных песков / Ю.А. Курников, М.И. Орлюк // Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 39-53.
- Лукин А.Е. Самородно-металлические микро – и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов / А.Е. Лукин // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, №2. – С. 61-92.
- Ляшкевич З.М. Вулканизм Днепровско-Донецкой впадины / З.М. Ляшкевич, Т.В. Завьялова. – Киев, 1977.
- Магниторазведка. Справочник геофизика / под ред. В.Е. Никитского и Ю.С.Глебовского. – М.: Недра, 1990. – 470 с.
- Максимчук В.Ю. Перспективи застосування магнітометрії при пошуках родовищ нафти і газу / В.Ю. Максимчук, Р.С. Кудравець // Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції: Нафтогазова геофізика – стан та перспективи. – Івано-Франківськ, 2009. – С. 178-181.
- Максимчук Ю.В. Прогнозування нафтогазоносності осадових басейнів України на основі дослідження особливостей аномального магнітного поля: звіт про науково-дослідну роботу / Ю.В. Максимчук, М.И. Орлюк, Ю.М. Городиский та ін. – НАН України, Українська нафтогазова академія, 2002.
- Орлюк М.И. Магнітна модель земної кори південного заходу Східно –Європейської платформи: авт. дис. ... д. геол. наук: 04.00.22 / М. И. Орлюк; [НАН України, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна]. – К., 1999. – 32 с.
- Орлюк М.И. Генетичні та структурно-генетичні зв'язки аномального магнітного поля Землі з її нафтогазоносністю / М.И. Орлюк // Геодинаміка, тектоніка і флюїдодинаміка нафтогазоносних регіонів України: тези доповідей VII міжнародної конференції України "Крим-2007". – Симферополь, 2007. – С. 105-107.
- Орлюк М.И. Нафтогазоносність земної кори України у зв'язку з її намагніченістю / М.И. Орлюк // Нафтова і газова промисловість. – 1994. – № 3. – С. 16-19.
- Орлюк М.И. Магнітна характеристика порід осадового чохла Центральної депресії Дніпровсько-Донецького авлакогена / М.И. Орлюк, С.М. Кравченко, В.А. Єнтін // Нафта і газ України: збірник наукових праць VI міжнародної науково – практичної конференції. – Івано-Франківськ, 2000. – Т.1. – С. 303.
- Орлюк М.И. Магнітна восприимчивість порід северо-западної частини Днепровско-Донецької впадини / М.И. Орлюк, В.В. Друкаренко // Геофизический журнал – 2010. – Т. 32, №1. – С. 78-91.
- Орлюк М.И. Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепровско-Донецької впадини / М.И. Орлюк, В.В. Друкаренко // Геофизический журнал – 2013. – Т. 35, №2. – С. 127-136.
- Орлюк М.И. Некоторые аспекты взаимосвязи нефтегазоносности с намагніченістю земної кори України / М.И. Орлюк, І.К. Пашкевич // Геофизический журнал – 1996. – Т. 18, №1. – С. 46-52.
- Орлюк М.И. Магнітна характеристика і разломна тектоніка земної кори Шебелинської групи газових месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов / М.И. Орлюк, І.К. Пашкевич // Геофизический журнал – 2011. – Т. 33, №6. – С. 136-151.
- Пашкевич І.К. Магнітна неоднорідність, разломна тектоніка консолидированной земної кори і нефтегазоносність Днепровско-Донецького авлакогена / І.К. Пашкевич, М.И. Орлюк, Т.В. Лебедь // Геофизический журнал – 2014. – Т. 36, №1. – С. 64-80.
- Пашкевич І.К. Региональные магнітні аномалії: рішення фундаментальних і прикладних задач / І.К. Пашкевич, М.И. Орлюк, С.В. Елисеєва // Геофизический журнал. – 1996. – Т. 18, №6. – С. 3-17.
23. Петромагнітна модель літосфери. – К: Наукова думка, 1994. – 175 с.
- Порфирьев В.Б. Природа нефти, газа и ископаемых углей / В.Б. Порфирьев: избранные труды в 2 т. – К.: Наукова думка, 1987. – 216 с.
- Расковалов Д.Ю. О закономерностях и причинах отражения месторождений углеводородов в региональном магнитном поле Западной Сибири / Д.Ю. Расковалов. // Вестник Томского Государственного университета. – 2009. – №3. – С. 212-216.
- Слепак З.М. Гравитационное моделирование гетерогенных структур при поисках нефти и газа: автореф. д. ... геол.-мин. наук / З.М. Слепак. – К., 1985. – 35 с.
- Чебаненко І.И. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов / І.И. Чебаненко, В.А. Краюшкин, В.П. Ключко и др. – К: Наукова думка, 2002. – 293 с.
- Bucha V. Geomagnetism of the external flysch special czechoslovakian Carpathians and the possible causes of anomalous Geophysical Manifestations / V.Bucha // Studia Geophysica Et geodaetica. – 1980. – V. 24. – P.227-251.
- Costanzo-Álvarez V. Rock magnetic characterization of early and late diagenesis in a stratigraphic well from the Llanos foreland basin (east Colombia) / V. Costanzo-Álvarez, M. Aldana, G. Bayona, D. López-Rodríguez, J. Blanco // Geological Society Special Publication. – 2012. – № 371(1). – P. 199-216.
- Jordanova D. Thermomagnetic behavior of magnetic susceptibility-heating rate and sample size effects / D. Jordanova, N. Jordanova // Front. Earth Sci. – 2016. – 3, DOI: 10.3389/feart.2015.00090.
- LeSchak L. A. High-resolution ground-magnetic (HRGM) and radiometric surveys for hydrocarbon exploration: Six case histories in Western Canada, in Surface exploration case histories. Applications of geochemistry, magnetic, and remote sensing / L.A. LeSchak, D.R. Van Alstine // AAPG Studies in Geology, № 48 and SEG Geophys. Ref. Series. – 2002. – №11. – P. 67-156.
- Machel H.G. Burial-diagenetic sabkha-like gypsum and anhydrite modules / H.G. Machel, E.A. Burton // J. Sedim.Petrol. – 1991. – № 61. – P. 349-405.
- Menshov O. Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva et al. // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2015. – № 59 (4). – P. 614-627.
- Menshov O. Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine) / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva et al. // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2016. – №60 (4). – P. 731-746.
- Rijal M. Magnetic signature of hydrocarbon-contaminated soils and sediments at the former oil field Hanigsen, Germany / M. Rijal, K. Porsch, E. Appel, A. Kappler // Studia Geophysica et Geodaetica. – 2012. – № 56. – P. 889-908.

36. Salem A. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives / A. Salem, S. Williams, J. D. Fairhead et al. // *Geophysics*. – 2008. – № 73. – L1-L10.

37. Shao G. Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs / G. Shao, G. Shao, Z. Liang et al. // *Applied Geophysics*. – 2005. – №1-2 (4). – P. 197-203.

References

1. Bagdasarova, M.V. (2013). Sovremennaya geodinamika i novye kriterii poiskov neftegazonosnykh mestorozhdeniy. Nedropol'zovanie XXI vek, 2, 56-61. [In Russian].

2. Geyko, T.S., Luki, A.E., Omel'chenko, V.V., Tseha, O.G. (2013). Tektono-geodinamicheskiye kriterii neftegazonosnosti kristallicheskogo fundamenta severnogo borta Dneprovsko-Donetskogo avlakogena. Sovremennyye metody seysmorazvedki pri poiskakh mestorozhdeniy nefli i gaza v usloviyakh slozhnopostroyennykh struktur (Seismo-2013). Materialy 4 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. Krym. [In Russian].

3. Dolenko, G.N., Lyashkevich, Z.M., Alekhina, M.A. et al. (1991). Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Endogeniye processy i neftegazonosnost'. Institut geokhimii i goryuchikh iskopaemykh. AN USSR. K.: Naukova dumka, 67 – 82. [In Russian].

4. Drukarenko, V.V., Rozyhan, T.V. (2016). Analiz fizychnykh parametrov porid osadovogo chokhla ta magnitolineamentiv pivnichno-zakhidnoyi chastyny Dniprovs'ko-Donet'skogo avlakogena stosovno prognovuvannya glybynnnykh vuglevodniv. Suchasni problemy geologichnykh nauk. Materialy VI Vseukrajins'koi molodizhnoi naukovoï konferencii-shkoly. 14-16 kvitnya 2016, Kyiv, 108-111. [In Ukrainian].

5. Ivanyshyn, V.A. (2005). Strukturno-stratygrafichni i litologo-geohimichni kryteriï neftegazonosnosti glybokozanurenykh vidkladiv Dniprovs'ko-Donets'koi zapadyny. Dys. ... d. geol. n.: 00.04.17. 464 p. [In Ukrainian].

6. Kryva, I.G. (2011). Litomagnitni kompleksy naftogazonosnykh vidkladiv paleozoyu pivnichno-zakhidnoyi chastyny Dniprovs'ko-Donet'skoi zapadyny. Dys. ... kand. geol. n.: 00.04.17. 144 p. [In Ukrainian].

7. Kurnikov, U.A., Orlyuk, M.I. (2011). Magnitno-mineralogicheskaya kharakteristika, klassifikatsiya i ispol'zovaniye prirodnykh magnitnykh peskov. *Geofizicheskij zhurnal*, 1, 33, 39–53. [In Russian].

8. Lukin, A.E. (2009). Samorodno-metallicheskiye mikro- i nanovklucheniya v formatsiyakh neftegazonosnykh bassejnov – trassery superglubinnnykh fluidov. *Geofizicheskij zhurnal*, 2, 31, 61–92. [In Russian].

9. Lyashkevich, Z.M., Zavjalova, T.V. (1977). Vulkanizm Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Kiev. [In Russian].

10. Magnitorazvedka. Spravochnik geofizika (1990). Pod red. Nikitskogo V.E. i Glebovskogo U.S. M.: Nedra, 470 p. [In Russian].

11. Maksymchuk, V.U., Kuderavets, R. S. (2009). Perspektivy zastosuvann'a magnitometrii pry poshukakh rodovyskh nafty i gasu. Naftogazova geofizyka – stan ta perspektivy. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferenciya. Zbirnyk tez dopovidey. Ivano-Frankivs'k, 178-181. [In Ukrainian].

12. Maksymchuk, V.U., Orlyuk, M.I., Gorodys'kiy, U.M., Kuznetsova, V.G., Kuderavets, V. S., Klimkoviya, V.A. (2002). Prognovuvann'a naftogazonosnosti osadovykh bassejniv Ukrainy na osnovi doslidzhennya osoblyvostey anomal'nogo magnitnogo polya. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu. Natsional'na akademiya nauk Ukrainy, Naftogazova akademiya, 166 p. [In Ukrainian].

13. Orlyuk, M.I. (1999). Magnitna model' zemnoi kory pivdennoho zahodu Shidno –Evropejs'koi platformy. Avt. dys. ... d. geol. n. 32 p. [In Ukrainian].

14. Orlyuk, M.I. (2007). Genetychni ta strukturno-genetychni vyzvyky anomal'nogo magnitnogo polya Zemli y yiyi naftogazonosnistu. Geodinamika, tektonika i fluyidodinamika neftegazonosnykh regionov Ukrainy. Tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Ukrainy "Krym – 2007". Simferopol, 105-107. [In Ukrainian].

15. Orlyuk, M.I. (1994). Naftogazonosnist' zemnoyi kory Ukrainy u vyzvazku z yiyi namagnichenistu. Naftova i gazova promyslovist', 3, 16-19. [In Ukrainian].

16. Orlyuk, M.I., Kravchenko, S.N., Yentyn, V.A. (2000). Magnitna kharakterystyka porid osadochnoho chokhla Tsentral'noyi depresiï Dniprovs'ko-Donetskogo avlakogena. Nafta i gaz Ukrainy: VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferenciya. Zbirnyk naukovykh prats'. Ivano-Frankivs'k, 1, 303. [In Ukrainian].

17. Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2010). Magnitnaya vospriimchivost' porod severo-zapadnoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. *Geofizicheskij zhurnal*, 1, 32, 78–91. [In Russian].

18. Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2013). Fizicheskiye parametry porod osadochnoho chekhla severo-zapadnoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. *Geofizicheskij zhurnal*, 2, 35, 127–136. [In Russian].

19. Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K. (1996). Nekotorye aspekty vzaimosvyazi neftegazonosnosti s namagnichennostyu zemnoy kory Ukrainy. *Geofizicheskij zhurnal*, 1, 18, 46–52. [In Russian].

20. Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K. (2011). Magnitnaya kharakteristika i razlomnaya tektonika zemnoy kory Shebelinskoy gruppy gazovykh mestorozhdeniy kak sostavnaya chast' kompleksnykh poiskovykh kriteriev uglevodorodov. *Geofizicheskij zhurnal*, 6, 33, 136–151. [In Russian].

21. Pashkevich, I.K., Orlyuk, M.I., Lebed', T.V. (2014). Magnitnaya neodnorodnost', razlomnaya tektonika konsolidirovannoy zemnoy kory i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskogo avlakogena. *Geofizicheskij zhurnal*, 1, 36, 64–80. [In Russian].

22. Pashkevich, I.K., Orlyuk, M.I., Yeliseeva, S.V. (1996). Regional'nye magnitnye anomalii: resheniye fundamental'nykh i prikladnykh zadach. *Geofizicheskij zhurnal*, 6, 18, 3–17. [In Russian].

23. Petromagnitnaya model' litosfery (1994). K.: Naukova dumka, 175 p. [In Russian].

24. Porfir'yev, V.B. (1987). Priroda nefli, gaza i iskopayemykh ugley. Izbrannyye trudy v 2 t. K.: Naukova dumka, 216 p. [In Russian].

25. Raskovalov, D.Yu. (2009). O zakonornostyakh i prichinakh otrazheniya mestorozhdeniy uglevodorodov v regional'nom magnitnom pole Zapadnoy Sibiri. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 3, 212-216. [In Russian].

26. Slepak, Z.M. (1985). Gravitatsionnoye modelirovaniye heterogenykh struktur pri poiskakh nefli i gaza. Avt. dys. ... d. geol.-min. n., 35 p. [In Russian].

27. Chebanenko, I.I., Krayushkin, V.A., Klochko, V.P., Gozhyk, P.F. et al. (2002). Neftegazoperspektivnye obyekty Ukrainy. Neftegazonosnost' fundamenta osadochnykh bassejnov. K.: Naukova dumka, 293 p. [In Russian].

28. Bucha, V. (1980). Geomagnetism of the external flysch special czechoslovakian Carpathians and the possible causes of anomalous Geophysical Manifestations. *Studia Geophysica Et geodaetica*, 24, 227-251.

29. Costanzo-Álvarez, V., Aldana, M., Bayona, G., López-Rodríguez, D., Blanco, J.M. (2012). Rock magnetic characterization of early and late diagenesis in a stratigraphic well from the Llanos foreland basin (Eastern Colombia). *Geological Society Special Publication*, 371, 1, 199-216.

30. Jordanova, N., Jordanova, D., Petrov, P. (2016). Soil magnetic properties in Bulgaria at a national scale – Challenges and benefits. *Glob. Planet. Change* 137, 107-122.

31. LeSchak, L. A., Van Alstine, D. R. (2002). High-resolution ground-magnetic (HRGM) and radiometric surveys for hydrocarbon exploration: Six case histories in Western Canada, in Surface exploration case histories Applications of geochemistry, magnetic, and remote sensing. AAPG Studies in Geology, № 48 and SEG Geophysics. Ref. Series, 11, 67-156.

32. Machel, H.G., Burton, E.A. (1991). Burial-diagenetic sabkha-like gypsum and anhydrite modules. *J. Sedim. Petrol.*, 61, 349-405.

33. 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, 4, 614-627.

34. Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Maksymchuk, V., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2016). Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60, 4, 731-746.

35. Rijal, M., Porsch, K., Appel, E., Kappler, A. (2012). Magnetic signature of hydrocarbon-contaminated soils and sediments at the former oil field Hanigsen, Germany. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56, 889-908.

36. Salem A., Williams S., Fairhead J.D., Smith R. and Ravat D.J. (2008). Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73, L1-L10.

37. Shao, G., Shao, G., Liang, Z., Wang, Z., Liu, G., Wang, W. (2005). Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs. *Applied Geophysics*, 1-2, 4, 197-203.

Надійшла до редколегії 16.02.17

V. Drukarenko, Junior Research Scientist
E-mail: TORY_D@ukr.net,

M. Orlyuk, Dr. Sci. (Geol), Chief of the Department of Geomagnetism
E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua
Institute of Geophysics by S.I.Subbotin name NAS Ukraine
32 Palladin Ave., Kiev, 03680, Ukraine

STRUCTURAL GENETIC RELATION OF MIGRATION PATHS AND HYDROCARBONS ACCUMULATION WITH EARTH CRUST MAGNETIC HETEROGENEITY OF NORTH-WESTERN PART OF THE DNIEPER-DONETS AULAKOGEN

Joint analysis of the magnetic heterogeneity and fault-block tectonics of the earth's crust is one of the methods for predicting migration routes and places for the accumulation of hydrocarbons. Investigations of the magnetic susceptibility of rocks revealed sufficiently high capabilities of the method for solving a wide range of problems: interpreting local magnetic anomalies over hydrocarbon deposits, dismembering and studying lithology of sedimentary sections, isolating and marking the area of reference magnetic horizons, and estimating the degree of oxidation-reduction processes. The deep-magnetic aspect of the oil and gas potential of the earth's crust is caused by the formation or transformation of iron-containing minerals into magnetic varieties (mainly magnetite, native iron and pyrrhotite) in the zones of deep faults with the influence of reducing fluids. The enhancement or decrement of the magnetic susceptibility of rocks with the influence of hydrocarbons in sedimentary cover depends on the composition of iron compounds. Their formation is controlled by geochemical and thermobaric conditions. All iron oxides are reduced to magnetite (ferromagnetic mineral), and sulfides are reduced to pyrite (paramagnetic). The laboratory studies of the hydrocarbons influence on magnetic susceptibility of rock samples with the temperature from 3 bore-holes and mineralogical studies to identify magnetic minerals were performed. The rocks are presented by argillites, sandstones, aleurolites, limestone and concretion. Magnetic susceptibility changes were detected,

x of the most saturated and unsaturated rocks increased. The mineralogical composition of limestone (marl) was studied using a scanning electron microscope, the REMMA-202M. It was not possible to detect the iron-containing mineral, probably, due to the low resolution of the device, since, for example, pyrrhotite may be in a finely dispersed state. Magnetic susceptibility enhancement of the rocks can be explained either by the transitions of the pyrrhotite phase during heating process or, supposedly, by the presence of the maghemite phase and its transition to hematite. The experimental data of the density and magnetic susceptibility of the rocks obtained by the authors from 8 super deep bore-holes were analyzed. Samples present sedimentary cover and the Precambrian basement of the investigated region. Beside sedimentary rocks, there are also basalts, concretions, gneisses and granite gneisses. Magnetic susceptibility and density of the rocks vary widely. Rocks interval of reduced densities and increased magnetic susceptibility were found in a number of bore-holes as well as areas of argillites decompression deeper than 5000 m. Due to affiliation of these areas to local and deep faults and nodes of their intersection they can be considered as perspective for deep hydrocarbons.

Keywords: magnetic susceptibility, Dnieper-Donets aulacogen, oil and gas content, hydrocarbons.

В. Друкаренко, м.н.с.

E-mail: Tory_D@ukr.net,

М. Орлюк, д-р геол. наук, зав.від. геомагнетизму

E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua

Інститут геофізики ім. С.І.Суботіна НАН України

пр. Палладіна 32, Київ, 03680, Україна

ПРО СТРУКТУРНО-ГЕНЕТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК ШЛЯХІВ МІГРАЦІЇ ТА НАКОПИЧЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ З МАГНІТНОЮ НЕОДНОРІДНІСТЮ ЗЕМНОЇ КОРИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО АВЛАКОГЕНУ

Одним із методів прогнозування шляхів міграції та місць накопичення вуглеводнів є спільний аналіз магнітної неоднорідності і розломно-блокової тектоніки земної кори. Дослідження магнітної сприйнятливості порід виявили досить високі можливості методу для вирішення широкого кола задач: інтерпретації локальних магнітних аномалій над родовищами вуглеводнів, розчленування і вивчення літології осадових розрізів, виділення і маркування по площі опорних магнітних горизонтів, оцінки ступеня окисно-відновних процесів. Глибинно-магнітний аспект нафтогазоносності земної кори обумовлений новоутворенням або перетворенням залізовмісних мінералів у магнітні різновиди (в основному, магнетит, самородне залізо і піротин) в зонах глибинних розломів під впливом відновлювальних флюїдів. В осадовому чохла збільшення або зменшення величини магнітної сприйнятливості порід під впливом вуглеводнів залежить від складу сполук заліза, утворення яких контролюється геохімічними та термобаричними умовами. Всі оксиди заліза відновлюються до магнетиту (феромагнетик), а сульфідів – до піриту (парамагнетик). Виконано лабораторні дослідження стосовно впливу вуглеводнів на магнітну сприйнятливість зразків порід з 3-х свердловин під дією температури і мінералогічні дослідження для ідентифікації магнітних мінералів. Породи представлені аргілітами, пісковиками, алевролітами, вапняком, конкрецією. Спостерігається різний характер поведінки магнітної сприйнятливості, в більшості зразків відбувається підвищення даного параметра насичених і ненасичених порід. Досліджувався мінералогічний склад вапняка (мергеля) за допомогою растрового електронного мікроскопа – мікроаналізатора РЕММА-202м. Виявити залізовмісний мінерал не вдалося, що пов'язано, скоріше за все, з низькою роздільною здатністю приладу, оскільки, наприклад, піротин, може перебувати в тонкодисперсному стані. Підвищення магнітної сприйнятливості порід в процесі нагріву може бути пояснено переходами піротинової фази, а також, можливо, присутністю магемітової фази та її переходом у гематит. Також було проаналізовано отримані авторами експериментальні дані про густину та магнітну сприйнятливість порід осадового чохла та докембрійського фундаменту з 8 надглибоких свердловин досліджуваного регіону. Крім осадових, породи представлені базальтами, конкреціями, гнейсами і гранітогнейсами. Магнітна сприйнятливість і густина зразків порід змінюються в широких межах. У ряді свердловин були виявлені інтервали зі зниженою густиною і підвищеною магнітною сприйнятливістю порід, а також області розушлювання аргілітів глибше 5000м. У зв'язку з приналежністю даних областей до локальних і глибинних розломів, а також вузлів їх перетину, ці області можна розглядати в якості перспективних на глибинні вуглеводні.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, Дніпровсько-Донецький авлакоген, нафтогазоносність, вуглеводні.

УДК 550.374

Р. Глоба, асп.

E-mail: hloba_roman@ukr.net, +380931536202,

І. Зінченко, студ.

E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,

Я. Глоба, асп.

E-mail: globa_yaroslav@ukr.net, +380631682639,

О. Дзюба, асп.

E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543

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

ГЕОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАС ТРУБОПРОВІДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік)**Запропоновано використання комплексу геофізичних досліджень для інженерних вишукувань при проектуванні і експлуатації лінійних підземних споруд трубопровідного транспорту.**Показано можливість вибору ділянок для будівництва та експлуатації трубопровідних транспортних систем. Розкрито ефективність комплексного застосування геофізичних методів при обґрунтуванні заходів захисту трубопровідних транспортних систем від впливу природних і техногенних процесів.**Для визначення можливих ділянок корозії на підземному входному газопроводі АГНКС (автомобільна газонаповнювальна компресорна станція) "Харків-4" були проведені дослідження методами електророзвідки: ВЕЗ (вертикальне електричне зондування), "віддаленого електрода", вимірювання градієнт потенціалу і СЕП (симетричне електричне профілювання). Низький позірний опір і високі негативні значення потенціалу є ознаками того, що ґрунти схильні до корозії і є ймовірність пошкодження трубопроводу в майбутньому. Підтверджено, що електричні геофізичні дослідження уздовж підземних трубопроводів слід проводити для раннього виявлення та профілактики пошкоджень трубопроводу з негативними екологічними та економічними наслідками.***Ключові слова:** корозія, ВЕЗ, СЕП, метод "віддаленого електрода", вимірювання градієнт потенціалу.

Вступ. Виникнення серйозних аварій на трубопроводах (викиди нафти, нафтопродуктів та інших речовин, вибухи газу і т.п.) може призвести до надзвичайних ситуацій з людськими жертвами, спричинити економічну і екологічну дестабілізацію цілих регіонів країни. Безпечна експлуатація трубопровідного транспорту є складним комплексним завданням, яке полягає у вирішенні технічних, технологічних, економічних і організаційних аспектів [10].

Питанням безпечної експлуатації трубопроводів і їх корозійної безпеки присвячено праці багатьох вчених. Так, М. В. Беккер, досліджуючи газотранспортну систему України, відзначив, що її надійна робота і безпечна експлуатація можлива лише за відповідного науково-технічного забезпечення. В роботах В.В. Рогозюка, Ю.П. Гузова та Ю.О. Кузьменка розглянуто основи електрохімічної та ґрунтової корозії, досліджено корозійні умови в різних регіонах України, а також визначено основні вимоги до експлуатації протикорозійного захисту трубопроводів і чинники їх надійності. Методи боротьби з окремими видами корозії металів досліджено в працях Р. Юхневича, В. Богдановича та Е. Валашковського. Значну увагу вони присвятили наступним методам антикорозійного захисту: застосування інгібіторів корозії, тимчасовий захист металів та електрохімічний захист. Авторами проведено оцінку ґрунтових умов експлуатації лінійної частини газотранспортної системи Полтавської області за показником рН середовища, електропровідністю ґрунту і вмістом сульфат-іонів, що дало змогу оцінити можливість створення умов для розвитку корозійних процесів на ділянках трубопроводів. В цих роботах наведено залежність для оцінювання швидкості корозійних процесів на поверхні ділянки трубопроводу.

Для лінійних інженерних споруд характерним є проведення великого обсягу земляних робіт, що тягне за собою істотну зміну складу і властивостей ґрунських порід. У першу чергу, це пов'язано з формуванням в траншеї розуцільнених ґрунтів зворотної засипки, які відрізняються нерівномірною щільністю і підвищеною фільтраційною здатністю. Більшість магістральних трубопроводів прокладені в глинистих ґрунтах, для яких рух води по порах відбувається не тільки під дією механічних сил, заданих градієнтом гідростатичного тиску, але й під дією інших фізичних і фізико-хімічних сил, зокрема: 1) градієнта поля постійного електричного струму (електроосмос);

2) градієнта концентрації розчинених електролітів (капілярний осмос); 3) температурного градієнта (термоосмос). Механізм руху води при електроосмосі, осмосі і термоосмосі однаковий – це рух рідини по поверхні частинок, на відміну від фільтрації, під час якої відбувається рух вільної води по шару зв'язаної води. Це свідчить про те, що при різних умовах експлуатації, в залежності від фізичної та хімічної неоднорідності як середовища (ґрунти), так і металу трубопроводу, може мати місце зміна потенціалу негативний / позитивний (катод / анод), тобто виникає знакозмінна зона, а це, як відомо, істотно впливає на термін експлуатації трубопроводів [7].

Процеси корозії трубопроводів у підземних умовах обумовлені фізичними і фізико-механічними факторами, що визначають її інтенсивність. Ґрунт як середовище, в якому відбувається процес корозії, характеризується різноманітними взаємопов'язаними і змінними в часі параметрами. Складний взаємозв'язок цих параметрів призводить до того, що той чи інший параметр при різних комбінаціях може діяти не тільки з різною інтенсивністю, але і змінювати корозійний вплив на транспортну споруду. Корозійна агресивність ґрунтів залежить від структурно-текстурних особливостей, форми ґрунтових частинок, загальної пористості, форми і поширення включень, які проводять струм [4].

Встановлено, що території з регіональним поширенням корозійних пошкоджень за комплексом природних особливостей характеризуються складними інженерно-геологічними умовами. На ділянках з інтенсивними корозійними процесами, особливо в зонах паралельного прокладання декількох ниток трубопроводів, виникають складнощі в проведенні детальних досліджень з метою встановлення закономірностей впливу ґрунтового середовища на виникнення корозійних процесів, а також подальшого утворення і розвитку ділянок корозійних пошкоджень [6].

Ухил крутих схилів в поєднанні зі знищенням рослинності в смузі укладання трубопровідних транспортних систем, спричиняє активізацію осипів, обвалів, зсувів і формування колювальних нестійких утворень. Зміна вологості ґрунтів навколо трубопроводу (внаслідок знищення рослинності) і морфології рельєфу має значний вплив, як на кінетику корозійних процесів, так і на вторинні процеси безпосередньо в зоні контакту "труба-земля" [8]. Це виявляється в зміні температури

середовища і, відповідно, температури поверхні трубопроводу, змінені водневого показника (рН), електропровідності ґрунтів, вмісту газів, що сприяє створенню умов для життєдіяльності різних бактерій. Найбільш різких перетворень геологічне середовище зазнає на початковій стадії експлуатації споруд. Надалі взаємозв'язок між спорудами і навколишнім середовищем поступово стабілізується [9].

Методика виявлення корозійних ділянок на трубопроводах транспортних системах електрометричними методами. При електрохімічному захисті (ЕХЗ) підземних трубопроводів виконується ряд вимірювань, зокрема, різниці потенціалів "труба-земля", поляризаційного потенціалу на трубопроводі, величини корозійної активності ґрунтів, стану ізоляційного покриття. Перераховані вимірювання дозволяють вирішити ряд завдань, а саме: визначення захищеності трубопроводів (ефективність ЕХЗ), локалізацію дефектів, інтегральну оцінку стану ізоляційного покриття (величина загасання струму в трубі), визначення ділянок з високою корозійною небезпекою, а також, оцінити залишковий експлуатаційний ресурс труб з урахуванням ефекту старіння металу [2].

Методика виявлення корозійних ділянок газопроводу, корозійної активності ґрунтів і вибору майданчика під анодне заземлення передбачає:

- вимір поздовжнього потенціалу "труба-земля" для визначення захищеності катодною поляризацією по довжині газопроводу і поперечного градієнта електричного поля кроком 5 м для визначення якості ізоляційного покриття комунікацій;
- вимір питомого електричного опору ґрунтів методом симетричного електричного профілювання;
- виконання вертикального електричного зондування з метою вибору майданчика під анодне заземлення [3].

Методика вертикального електричного зондування (ВЕЗ) передбачає вимір питомого опору установкою, в якій відстань між живильними електродами постійно збільшується від одного виміру до іншого. Кінцевим результатом зондування є крива залежності позірної опору (ρ) від розносу живильної лінії.

Зондування виконується кількома вимірювальними лініями, розмір яких змінюється в залежності від відстані між живильними електродами. Це дозволяє при технічно можливих значеннях сили струму в ланцюзі живильних електродів забезпечити можливість для вповного вимірювання різниці потенціалів. При переходах

від однієї вимірювальної лінії до іншої визначення ρ виконуються при двох суміжних значеннях розносів MN.

За вимірними значеннями ρ безпосередньо в полі будується графік ВЕЗ, що відображає залежність ρ від величини $\frac{1}{2}$ від розносу живильної лінії. Цей графік створюється в подвійному логарифмічному масштабі з модулем, рівним 6,25 см. Ділянки кривої, отримані різними вимірювальними лініями, відображаються на графіку у вигляді окремих відрізків. Розриви між відрізками пояснюють зміни відстані між електродами живлення і вимірювальної лінії, тобто, вказують на зміну глибини вимірювання або вплив локальних неоднорідностей поблизу вимірювальних електродів [4].

Для визначення якості ізоляційного покриття і корозійної активності ґрунтів проводяться вимірювання поперечного градієнта захисного потенціалу технологічних трубопроводів з кроком 5 м по осі трубопроводу (установка MN = 5 м). Також застосовується метод "віддаленого електрода" (один з електродів розташовується за межами території майданчика з метою уникнення впливу електричних полів сусідніх технологічних трубопроводів і анодних зон, створених заземленнями установки катодного захисту). У місцях аномальних значень градієнта (при зростанні значень градієнта у 2-3 рази) виконуються детальні вимірювання (крок вимірювань зменшується до 1-2 м). Корозійна активність ґрунтів визначається за даними вимірювання питомого електричного опору ґрунту методом симетричного електричного профілювання.

Місце знаходження технологічних трубопроводів визначається за допомогою трасошукача "Спрут-5 м" з використанням частотного генератора. Також вимірюється глибина залягання технологічних трубопроводів кроком до 50 м і в місцях їх поворотів [3].

Результати електрометричних досліджень. Вертикальне електричне зондування виконувалося за межами майданчика автомобільної газонаповнювальної компресорної станції (АГНКС) "Харків-4" в місті Харків. При виконанні робіт використовувався прилад "Електротест-S" в режимі змінного струму з частотою 5 Гц, симетрично установкою з бронзовими вимірювальними електродами MN і сталевими живильними АВ.

Кількісна інтерпретація ВЕЗ виконана за допомогою програмного продукту "IP12Win" (Рис. 1). За даними контрольних вимірів точність глибини горизонтів і вимірів позірних опорів повинна складати $\pm 5\%$.

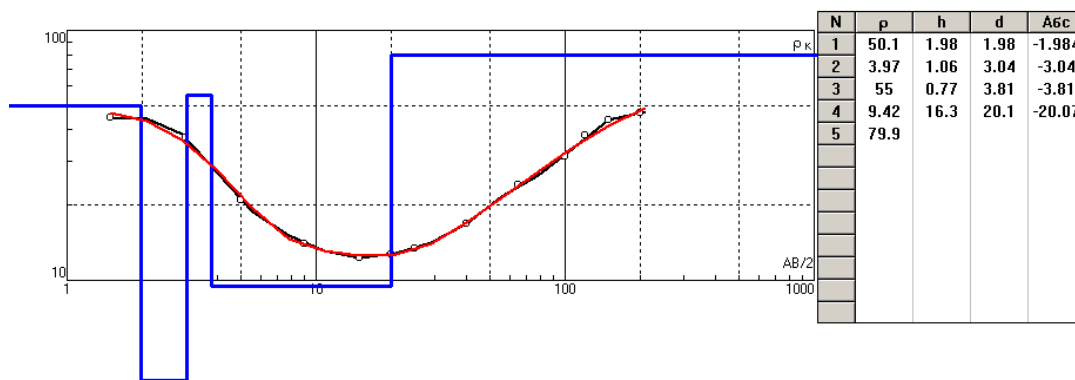


Рис 1. Кількісна інтерпретація кривої ВЕЗ

Інтерпретація отриманих даних дозволяє виділити наступні літологічні горизонти. Перший горизонт потужністю (h) 2 м представлений суглинком з домішками органічних речовин і має питомий електричний опір (ρ)

50 Ом*м. Другий горизонт складений глинами (h=1 м, ρ =4 Ом*м). Третій – суглинками (h=1 м, ρ =55 Ом*м). Четвертий горизонт складений глинами (h=16 м, ρ =9 Ом*м). П'ятий горизонт починається з глибини 20 м і представ-

лений зволоженими пісками та супісками з питомим електричним опором $80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. По геоелектричному розрізу ґрунту на глибину встановлено, що в даному районі досліджень для ефективної роботи системи ЕХЗ необхідно передбачати глибинне анодне заземлення (ГАЗ) з глибиною розміщення електродів в інтервалі 2-20 м

За результатами досліджень потенціалів і питомого електричного опору побудовано графіки представлені на рис. 2-4.

1) Графік розподілу потенціалу "труба-земля" (Рис. 2). Основним критерієм захищеності технологічних трубопроводів від ґрунтової корозії є значення захисного потенціалу "труба-земля" щодо мідно-сульфатного електрода порівняння ($\text{Cu} / \text{CuSO}_4$):

- з омичною складовою – 900 мВ;
- по поляризаційному потенціалу – 850 мВ.

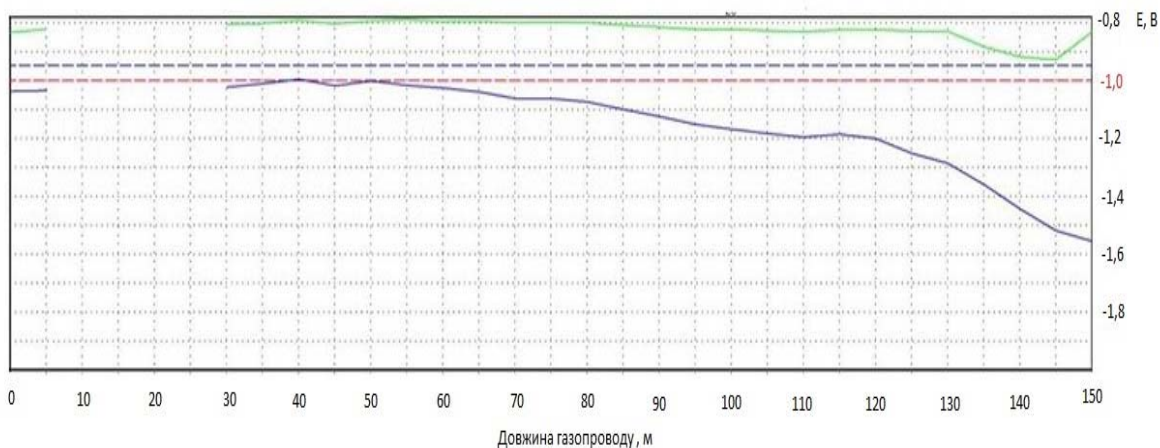


Рис. 2. Графік розподілу потенціалу "труба-земля" на підвідному газопроводі АГНКС "Харків-4"

Величина потенціалу "труба-земля" з омичною складовою змінюється в межах від -0.996 до -1.560 В . Величина поляризаційного потенціалу "труба-земля" змінюється в межах від -0.785 до -0.925 В . Захищеність підвідного газопроводу катодною поляризацією по довжині склала:

- з омичною складовою – 97%;
- по поляризаційному потенціалу – 0%.

2) Графік поперечного градієнт-потенціалу "земля-земля" (Рис. 3). Стан ізоляційного покриття технологічних трубопроводів визначається за величиною значень поперечного градієнта. Аналізуючи графік можна зробити висновок, що ізоляційне покриття підвідного газопроводу АГНКС "Харків-4" на контактах "труба-земля" знаходиться в задовільному стані.

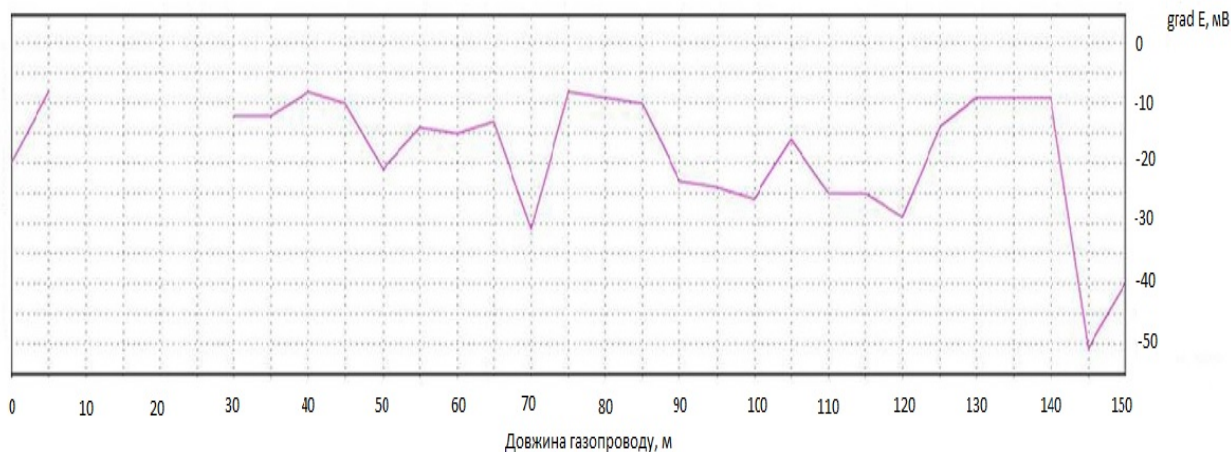


Рис. 3. Графік поперечного градієнт-потенціалу "земля-земля" на підвідному газопроводі АГНКС "Харків-4"

3) Графік питомого електричного опору (визначення корозійної активності ґрунтів) (Рис. 4). Корозійна активність ґрунтів визначається за даними вимірювання питомого електричного опору ґрунту приладом "Ф-4103-М1" із симетричною установкою Венера. Цей параметр, по відношенню до металу технологічних трубопроводів, визначається відповідно до вимог ДСТУ 4219-2003 [3]. Основ-

ним виміром при цьому, є значення питомого електричного опору ґрунтів. За цим параметром ґрунти діляться:

- до $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – ґрунти з високою корозійною активністю;
- від $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до $50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – ґрунти з середньою корозійною активністю;
- більше $50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – ґрунти з низькою корозійною активністю.

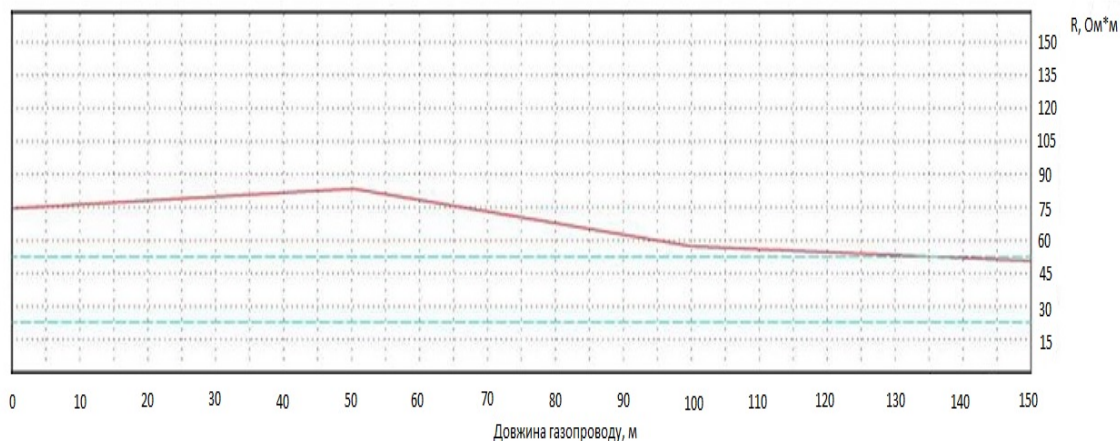


Рис. 4. Графік питомого електричного опору ґрунтів

Дослідженнями встановлено, що підвідний газопровід АГНКС "Харків-4" перебуває в ґрунтах з низькою і середньою корозійними активностями.

Висновки. Методи, розглянуті в даній статті, є оптимальними для визначення корозійних процесів, які впливають на трубопровідний транспорт. Для пошуку корозійних ділянок підвідного газопроводу АГНКС "Харків-4" проведено вимірювання поляризаційного потенціалу. Основним критерієм захищеності технологічних трубопроводів від ґрунтової корозії є розподіл потенціалу "труба – земля". За результатами методу симетричного електричного опору визначена корозійна активність ґрунтів, в котрих розташований газопровід. За допомогою методу вертикального електричного зондування побудовано геоелектричний розріз з метою вибору майданчика під анодне заземлення. Розглянуті методи в комплексі можуть, як доповнювати інженерні вишукування, так і бути застосовані при оцінці природних і техногенних умов середовища та для створення різноманітних статичних і динамічних моделей стану і розвитку геологічного середовища.

Список використаних джерел

1. Бекман В. Катодная защита от коррозии: справочн. издание / В. Бекман, В. Швенк. – М.: Металлургия, 1984. – 496 с.
2. Доклад "Рургаз" о состоянии катодной защиты от коррозии и о проблемах коррозии в газотранспортной сети стран СНГ. – 1996. – 61 с.
3. ДСТУ 4219-2003 "Трубопроводы сталеви магістральні загальні вимоги до захисту від корозії". – К.: Держстандарт України, 2003. – 72 с.
4. Мещеряков С. В. Влияние химико-микробиологических факторов в почвогрунте на коррозионные процессы в условиях Крайнего Севера / С. В. Мещеряков, О. В. Васина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – №8. – С. 11-15.
5. Розгонюк В.В. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В.В. Розгонюк, Ю.П. Гужов. – К.: Росток, 2000. – 286 с.
6. Трофимов В. Т. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, А.С. Герасимова. – М.: Геоэкология, 1995. – С.129-130.

7. Bobachev A. Study of working and projected pipelines with electrical methods / A. Bobachev // Electromagnetic Fields and Our Health. – 1998. – №9 – P. 127-131.

8. Ekine A. S. Investigation of Corrosion of Buried Oil Pipeline by the Electrical Geophysical Methods / A.S. Ekine, G.O. Emujakorue // J. Appl. Sci. Environ. Manage. – 2010. – №14. – p. 63–65.

9. Ivanik O. Numerical modeling of geological environment impact on the pipelines / O. Ivanik, M. Lavrenyuk, V. Shevchuk // Earthdoc, 2009.

10. Ivanik O. Complex technique of the comprehensive assessment of the hazardous geological processes impact on the nature-technical systems / O. Ivanik, M. Lavrenyuk, V. Shevchuk. // Abstracts of 10-th International Conference "Geoinformatics: theoretical and Applied Aspects", 10-13 May, 2011. – Kiev, 2011.

References

1. Bekman, V., Shvenk, V. (1984) Katodnaya zaschita ot korrozii. Metallurgiya, 45-48. [in Russian].
2. Doklad "Rurgaz" o sostoyanii katodnoy zaschityi ot korrozii i o problemah korrozii v gazotransportnoy seti stran SNG. (1996). [in Russian].
3. DSTU 4219-2003 "Truboprovody stalevi mahistralni zahalni vymohy do zakhystu vid korozii". (2003). Derzhstandart Ukrainy, 72. [in Ukrainian].
4. Mescheryakov, S.V., Vasina, O.V. (2009). Vliyanie himiko-mikrobiologicheskikh faktorov v pochvogruntе na korroziionnye protsessy v usloviyah Kraynego Severa. Zashchita okruzhayushey sredy v neftegazovom komplekse, 8, 11-15. [in Russian].
5. Rozghoniuk, V.V., Huzhov, Iu.P. (2000). Tekhnichna ekspluatatsiia system zakhystu vid pidzemnoi korozii mahistralnykh hazoprovodiv. K.: Rostok, 286. [in Ukrainian].
6. Trofimov, V. T., Korolov, V. A., Gerasimova, A. S. (1995). Klassifikatsiya tehnogennykh vozdeystviy na geologicheskuyu sredu. M.: Geoekologiya, 5, 96-107. [in Russian].
7. Bobachev, A. (1998). Study of working and projected pipelines with electrical methods. Electromagnetic Fields and Our Health.9, 127-131.
8. Ekine, A. S., Emujakorue, G.O. (2014). Investigation of Corrosion of Buried Oil Pipeline by the Electrical Geophysical Methods . O. J. Appl. Sci. Environ. Manage, 14, 63–65.
9. Ivanik, O., Lavrenyuk, M., Shevchuk, V. (2009). Numerical modeling of geological environment impact on the pipelines. Earthdoc.
10. Ivanik, O., Lavrenyuk, M., Shevchuk, V. (2011). Complex technique of the comprehensive assessment of the hazardous geological processes impact on the nature-technical systems. Abstracts of 10-th International Conference "Geoinformatics: theoretical and Applied Aspects", 10-13 May. Kiev.

Надійшла до редколегії 16.11.16

R. Hloba, PhD student

E-mail: hloba_roman@ukr.net, +380931536202,

I. Zinchenko, student

E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,

Y. Hloba, PhD student

E-mail: globa_yaroslav@ukr.net, +380631682639,

O. Dziuba, PhD student

E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOPHYSICAL METHODS APPLICATION FOR PIPELINE TRANSPORT SYSTEMS

Set of geophysical methods to engineering surveys when designing and operating linear underground constructions of pipeline transport is proposed to apply.

The study allows to identify the area's best fitting for laying and operating the pipeline transport system. The paper provides a complex of geophysical methods to guarantee safety standards on the pipeline transport systems when affected by natural and anthropogenic hazards.

During implementation of this study, the feasibility of using digital satellite images for monitoring of pipeline transport facilities was confirmed. The paper proposes the application of complex of traditional electrical methods to the pipeline transportation system, the latter being typified as a complex engineering construction.

Electrical methods, such as vertical electrical sounding, symmetrical electrical profiling, gradient potential method and self potential method were used to identify possible areas of corrosion on the underground pipeline of filling station "Kharkiv-4".

The low apparent resistivity and high negative spontaneous potential values indicate that the soil is very corrosive and it is possible to have the pipeline failure in the future. Electrical geophysical investigations along buried pipelines should be undertaken for the early detection and prevention of pipeline failure with its negative environmental and economic consequences.

Keywords: corrosion, pipeline systems, engineering surveys, VES, SEP, the method of "remote electrode", measuring potential gradient.

Р. Глоба, асп.

E-mail: hloba_roman@ukr.net, +380931536202,

И. Зинченко, студ.

E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,

Я. Глоба, асп.

E-mail: globa_yaroslav@ukr.net, +380631682639,

О. Дзюба, асп.

E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАСС ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Предложено использование комплекса геофизических и дистанционных исследований для инженерных изысканий при проектировании и эксплуатации линейных подземных сооружений трубопроводного транспорта.

Показана возможность выбора участков для строительства и эксплуатации трубопроводных транспортных систем. Подтверждена эффективность комплексного применения геофизических методов при обосновании мер защиты трубопроводных транспортных систем от воздействия природных и техногенных процессов.

Для определения возможных участков коррозии на подземном входящем газопроводе автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) "Харьков-4" проведены исследования методами электроразведки: ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование), "удаленного электрода", измерения градиент потенциала и СЭП (симметрическое электрическое профилирование).

Низкое кажущееся сопротивление и высокие отрицательные значения потенциала являются признаками того, что грунты подвержены коррозии и есть вероятность повреждения трубопровода в будущем. Подтверждено, что электрические геофизические исследования вдоль трасс подземных трубопроводов следует проводить для раннего выявления и профилактики повреждений трубопровода, которые могут сопровождаться негативными экологическими и экономическими последствиями.

Ключевые слова: коррозия, трубопроводные транспортные системы, ВЭЗ, СЭП, метод "удаленного электрода", измерения градиент потенциала, дистанционный мониторинг.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.041

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vladvam@gmail.com,В. Загнітко, д-р геол.-мін. наук, проф.
E-mail: zagnitkow@i.ua,М. Курило, канд. геол. наук, доц.
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua ,Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТИЦІЙ В МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. М.М. Коржневим)

Розглянуто можливості і передумови залучення інвестицій у розвиток вітчизняної мінерально-сировинної бази (МСБ), як у родовища, які розробляються, для оновлення діючих фондів, відтворення їх запасів, так і для об'єктів на стадії геологорозвідувальних робіт і проектування. Зараз МСБ налічує тисячі родовищ корисних копалин, які розвідані і залучені до промислового освоєння, а також тисячі інших можливих об'єктів інвестування. Видобуток і переробка мінеральної сировини традиційно є фондоємними галузями, які передбачають створення і експлуатацію вартісних споруд, придбання гірничого і транспортного обладнання та ін. Інвестиції в ці галузі, як правило, є масштабними проектами зі значними термінами освоєння родовищ корисних копалин, що спричиняє багато ризиків інвестування. Переліченими факторами зумовлена актуальність інвестиційної оцінки вітчизняної МСБ на різних рівнях: на локальному, що стосується окремих родовищ корисних копалин, та регіональному і державному – із визначенням найбільш стратегічно важливих видів мінеральної сировини.

Вибір першочергових об'єктів для отримання капітальних інвестицій в сфері використання надр доцільно проводити за результатами відповідної оцінки інвестиційної привабливості, яка передбачає встановлення абсолютних та відносних критеріїв та ранжування об'єктів.

Методика оцінки залежить від мети, яка може полягати у наступному: 1) оцінка доцільності капітальних інвестицій в розширення і технічне переоснащення діючих добувних підприємств; 2) вибір альтернативних об'єктів використання надр для інвестицій, у тому числі, тих родовищ, які ще не розроблялися; 3) покупка цінних паперів окремих добувних компаній.

Визначено перелік критеріїв для попередньої оцінки перспектив інвестицій у вітчизняний мінерально-сировинний комплекс. Цей перелік базується на якісних і кількісних параметрах родовищ корисних копалин, геологічних, гірничо-технічних, технологічних передумовах освоєння, а також включає базові техніко-економічні показники. Проведено ранжування об'єктів вітчизняної МСБ за рівнем інвестиційної привабливості і ризиком інвестицій в промислове освоєння для головних груп горючих, металічних, неметалічних корисних копалин.

Ключові слова: мінерально-сировинна база, інвестиційна привабливість, оцінка родовищ корисних копалин, ризики освоєння.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Україна має потужну мінерально-сировинну базу (МСБ) і за цим показником входить до провідних країн світу. На її території виявлено більше 8 тисяч родовищ і понад 12 тисяч проявів 120 видів корисних копалин, значна частина з яких розробляється чи розроблялася раніше (понад 3300 родовищ). Тут відомі родовища і прояви горючих корисних копалин (нафта, газ, вугілля, торф, горючі сланці), металічної (залізо, марганець, хром, титан, ванадій, алюміній, магній, мідь, свинець, цинк, нікель, кобальт, молибден, вольфрам, олово, ртуть, сурма, золото, срібло, платина, уран берилій, літій, германій, тантал, ніобій, цирконій, гафній, скандій, ітрій, лантаноїди) і неметалічної сировини. Така кількість і різноманіття корисних копалин дають можливість значного розвитку сфери використання надр, яке зараз можливе за умов залучення капітальних інвестицій як вітчизняних, так і іноземних. Видобуток і переробка мінеральної сировини традиційно є фондоємними галузями, які передбачають створення і експлуатацію вартісних споруд, придбання гірничого і транспортного обладнання та інше. Інвестиції в ці галузі як правило є масштабними проектами із значними термінами освоєння родовищ корисних копалин, що спричиняє багато ризиків інвестування. Переліченими факторами зумовлена актуальність інвестиційної оцінки вітчизняної МСБ на різних рівнях: на локальному, що стосується окремих родовищ корисних копалин, та регіональному і державному – із визначенням найбільш стратегічно важливих видів мінеральної сировини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші узагальнюючі зведення щодо геологічної будови і корисних копалин України наведені у відповідних томах фундаментальної праці "Геологія Радянського Союзу" (1944–1958 рр.), в монографії В.Г. Бондарчука "Геологія

родовищ корисних копалин України" (1969 р.). Питання про стан мінеральних ресурсів і геологію корисних копалин України висвітлювалися в роботах А.Х. Бакаржєва, О.К. Бабиніна, Я.М. Белевцева, О.Б. Боброва, В.Г. Бондарчука, А.С. Войновського, Л.С. Галецького, Є.Б. Глеваського, П.Ф. Гожики, С.В. Гошовського, Д.С. Гурського, К.Ю. Єсипчука, Е.Я. Жовинського, В.М. Загнітка, П.М. Зарицького, В.Б. Ковалю, С.Г. Кривдіка, Є.О. Куліша, Є.К. Лазаренко, М.І. Лебідя, О.І. Матковського, В.С. Металіди, С.В. Нечаєва, Б.С. Панова, В.Л. Приходька, М.П. Семененка, А.О. Сіворонова, В.І. Скаржинського, С.М. Стрекозова, Є.Ф. Шнюкова, В.О. Шумлянського, Г.М. Яценка і багатьох інших. Роботами, які узагальнили накопичені на початок ХХІ сторіччя зведення з мінерально-сировинних ресурсів України стали двотомна монографія [5, 6], а також серія підручників [2, 7, 12].

Однак, в цих та інших роботах відсутній критичний аналіз МСБ України на сучасному етапі, не надана геолого-економічна оцінка видів сировини в сучасних ринкових умовах, не висвітлені ті проблеми, які стоять перед видобувною галуззю України у зв'язку з ускладненням зовнішніх і внутрішніх передумов використання її мінерально-сировинної бази.

В останні роки приділяється увага питанням геолого-економічної оцінки об'єктів МСБ України [4, 8-11, 14, 15], розробляються теоретичні питання такої оцінки [11, 13]. Важливою роботою, де проведено ранжування об'єктів МСБ України стала монографія Д.С. Гурського [3], де обґрунтовано виділення групи стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин, використання яких забезпечує приріст внутрішнього валового продукту, валютні надходження, наповнення державного бюджету, економічну та оборонну безпеку держави. Вони поділені на 4 категорії: А – газ, нафта, конденсат,

метан вугільних родовищ, вугілля, залізни, марганцеві, титанові руди; Б – алюміній, нікель і кобальт, уран, калійні солі, сірка, карбонатна хімічна сировина, каолін; В – літій, рідкісні землі, золото, срібло, флюсові вапняки і доломіти, бентонітові глини та ін.; Г – хром, мідь, свинець і цинк, тантал і ніобій, олово, вольфрам, молибден, цирконій і гафній, платиноїди; фосфорити, апатит, барит, глауконіт, флюорит, магнезит, високоглиноземна сировина, каменебарвна сировина, техногенна сировина.

Питання неповного залучення усього різноманіття розвіданих запасів вітчизняної МСБ також піднімалося у публікаціях Л.С. Галецького [1], де відзначено також проблему відсутності повного циклу виробництва (від видобутку корисних копалин до випуску кінцевої продукції з них). Найчастіше підприємства займаються лише видобутком і первинною переробкою сировини, що знижує додану вартість продукції в декілька разів порівняно із кінцевими продуктами споживання. Головною причиною такого розподілу також є недостатні обсяги інвестування у переробку, збагачення та металургійний чи хімічний переділ сировини.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Більшість перелічених робіт мітять оцінку МСБ загалом та її окремих складових, але з точки зору їх кількісної і якісної оцінки, геологічних передумов і закономірностей розповсюдження родовищ і проявів корисних копалин. Частково в публікаціях зустрічаються результати геолого-економічної оцінки запасів і ресурсів корисних копалин, але, як правило, це результати нормативної або порівняльної оцінки, яка не містить детального інвестиційного аналізу проектів використання надр.

Розвитку МСБ України заважає недосконала законодавча база і помилкова інвестиційна політика кінця 90-х – початку 2000-х років, застарілі технології видобутку і вилучення корисних компонентів, відсутність економічної оцінки багатьох видів корисних копалин і їх родовищ з урахуванням механізмів ринкової економіки, відсутність інвестицій. Це обумовлює необхідність розвивати прагматичний підхід до оцінки нашої МСБ з урахуванням реалій сьогодення, зокрема, виходом України на світовий ринок мінеральної сировини. Головним завданням геологічної галузі України на найближчі роки є переоцінка власної мінерально-сировинної бази за сучасними економічними критеріями, головним з яких є інвестиційна привабливість її об'єктів. Оцінка інвестиційної привабливості об'єктів МСБ України з урахуванням ризиків, поточної та прогнозованої кон'юнктури необхідна для успішного залучення інвестицій та отримання найбільшого економічного ефекту на всіх етапах реалізації проектів з освоєння ресурсної бази. Результати такого дослідження є важливими для вибору оптимальних економічно-адміністративних форм залучення фінансування об'єктів, розробки переговорної позиції до підписання Угоди про розподіл продукції, формування сприятливих умов для реалізації інвестиційних проектів. Саме цим питанням і присвячені наукові дослідження, що пропонуються.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Основною метою досліджень є оцінка інвестиційної привабливості об'єктів МСБ України, що є надзвичайно актуальним питанням з урахуванням необхідності залучення інвестицій для розвитку економіки нашої держави. Основними завданнями роботи є розробка методики, критеріїв і показників оцінки інвестиційної привабливості об'єктів МСБ України і їх послідовна оцінка.

Виклад основного матеріалу. Головні чинники оцінки інвестиційної привабливості об'єктів МСБ. Інвестиційна привабливість об'єкту, як правило, є комплексним критерієм, який може розглядатися в абсолютних і відносних показниках. Проведення такої оцінки передбачає наявність інвестора і пошук прийнятних об'єктів інвестування, а методика залежить від мети, яка може полягати у наступному: 1) оцінка доцільності капітальних

інвестицій в розширення і технічне переоснащення діючих добувних підприємств; 2) вибір альтернативних об'єктів використання надр для інвестицій, у тому числі тих, які ще не розроблялися; 3) покупка цінних паперів окремих добувних компаній. Оцінку інвестиційної привабливості зазвичай проводять в декілька етапів:

перший етап – передбачає встановлення кількісних граничних показників проекту та відбракування підприємств, родовищ та ін., що в результаті формує вузький перелік можливих об'єктів інвестування;

другий етап – передбачає рейтингову оцінку для визначеного переліку у п.1.

Абсолютні параметри інвестиційної привабливості для першого етапу встановлюють із переліку показників грошової оцінки запасів і ресурсів корисних копалин, що є результатом їх геолого-економічної оцінки на кожній стадії ГРП. В загальних випадках цей перелік включає вартість запасів і ресурсів, рентабельність, коефіцієнт ліквідності. Важливе значення в оцінці має позиція інвестора стосовно величини інвестицій та очікуваного терміну їх повернення. Крім загальноприйнятих показників у надрокористуванні використовують додаткові показники і кондиції, які пов'язані із виникненням особливих складових оцінок – геологічного ризику та ризиків гірничого бізнесу.

З врахуванням наведеного, в сучасній практиці існує багато версій оцінки інвестиційної привабливості в залежності від специфікації вимог інвестора. Це надзвичайно копітка і трудоемна робота, яка повинна враховувати різнопланові критерії і чинники, а також ті ризики, які існують при проведенні геологорозвідувальних робіт. До головних чинників оцінки в першому наближенні можна віднести такі техніко-економічні показники геолого-економічної оцінки родовищ:

ступень геологічного і техніко-економічного вивчення родовищ, яка проводиться відповідно до вітчизняних і міжнародних стандартів оцінки;

геолого-промисловий тип родовища, складність геологічної будови родовища – визначається за загальноприйнятими методами (проста, складна, дуже складна, надто складна);

розміри родовища, масштаби розвіданих запасів, геологічні і промислові (видобувні) запаси, їх кількість і якість, концентрації в межах продуктивних покладів і таке інше;

геометричні параметри зруденіння, кількість, форма, розміри рудних тіл, їх середня потужність, витриманість по простяганню і падінню;

якість корисної копалини, вміст корисного компоненту в геологічних запасах, комплексність родовища і вміст супутніх компонентів, форма знаходження корисних компонентів (хімічний елемент, мінерал, гірська маса), наявність шкідливих домішок, унікальність сировини;

гірничотехнічні умови експлуатації, які обумовлюють визначення способу і системи розробки покладів;

технологічні властивості сировини, вирішення оптимальних (за якістю і вартістю) технологічних рішень переробки і збагачення, збіднення руд, вихід концентрату (концентратів), вміст корисного компоненту (компонентів) у концентраті тощо;

екологічні умови експлуатації родовища, оцінка впливу наявного стану довкілля на можливість відпрацювання, оцінка впливу добувних підприємств на довкілля, витрати екологічного спрямування;

величина необхідних капіталовкладень: проектні витрати на освоєння родовища, капітальні вкладення (будівлі, шляхи, гірничо-капітальні виробки, підземні виробки, збагачувальна фабрика, рекультивация порушених земель, житлове будівництво та ін.), експлуатаційні витрати, експлуатаційні витрати на 1 т руди, витрати на вивід з експлуатації, плата за спеціальне використання надр, плата за ГРП, відрахування на ремонт і утримання автошляхів, відрахування в інноваційний фонд, амортизація основних фондів тощо;

Закінчення табл. 1

Рівень інвестиційної привабливості	Види сировини	Приклади родовищ (проявів)	Ризики інвестиційних вкладень
Середній	Фосфорити	Ратнівське, Осиківське, Жванське	30–50 %
	Апатит	Новополтавське, Стремигородське	
	Торф	Волинська, Житомирська області	
	Магнієві солі	Стебницьке, Калуш-Голинське	
	Бішофіт	Затуринське, Новоград-Волинське	
	Карбонатна хімічна сировина	Бечальське, Полицьке	
	Барит	Біганське,	
	Сапоніт	Ташківське, Радошівське	
	Алуніт	Біганське, Берегівське	
	Пірофіліт	Нагорнянське, Збранківське	
	Озокерит	Бориславське, Старунське	
	Польовошпатовая сировина	Гризльовецьке, Більчаківське	
	Кварцовий пісок	Гусарівське	
	Ріоліти	Ардівське	
	Флюсові вапняки і доломіти	Новотроїцьке, Стилівське	
	Флюорит	Бахтинське, Покрово-Кирівське	
	Вогнетривка сировина (магнезит, кварцити, вогнетривкі глини)	Правдинське, Веселянське, Овруцьке, Товкачівське	
	Вогнетривкі глини	Часов-Ярське, Новорайське	
	Формувальні піски	Часов-Ярське, Ріпечьке	
	Будівельне каміння	Коростишівське, Хлібодарівське	
	Піщано-гравійні суміші	Самбірське, Любинецьке	
	Перліт	Шиной-Варна, Фогоське, Ардівське	
	В'язуча сировина (вапняк, мергель, гіпс і ангідрид, діатоміт тощо)	Амвросіївське, Попаснянське, Артеміївське, Нирківське	
	Каменебарвна сировина (топаз, берил, гірський криштал, родоніт)	Волинське, Прилуцьке	
Низький	Сапропель	Волинська, Рівненська області	≥50 %
	Сірка	Язівське, Немирівське	
	Давсоніт	Буштинське, Кіндратівське	
	Бром і йод	Сиваське, Сасик-Сиваш	
	Бор	Булганацьке, Тарханське	
	Мінеральні сорбенти (цеоліт, вермикуліт, палигорськіт)	Сокиринське, Кам'яномогильське, Андріївське, Черкаське	
	Кварцовожильна сировина	Волинське	
	Високоглиноземиста сировина (силіманіт, дистен, андалузит)	Драгунське, Маріупольське, Пержанське, Малишівське	

Для локальних об'єктів результати оцінки інвестиційної привабливості корисно подавати у вигляді довідок про інвестиційний проект, які містять його назву та цільове призначення, форму власності, рівень готовності інвестиційного проекту, наявність ліцензії та інших спеціальних документів, наявність комунікацій (електрифікація, газифікація, вода та водовідведення), перелік існуючої техніки, обладнання, загальний стан (техніки, обладнання, підприємства в цілому), кількість працівників, позиція на ринку (локальному, регіональному), загальний обсяг необхідних інвестицій, спосіб залучення інвестицій (фінансові інвестиції, надання кредитних ресурсів), термін окупності проекту та його рентабельність.

Висновки. Подальший розвиток вітчизняної МСБ потребує значного залучення інвестицій як у родовища, які розробляються, для оновлення діючих фондів, відтворення їх запасів, так і для об'єктів на стадії геолого-розвідувальних робіт і проектування. Вибір першочергових об'єктів для отримання капітальних інвестицій в сфері використання надр доцільно проводити за результатами відповідної оцінки інвестиційної привабливості, яка передбачає встановлення абсолютних та відносних критеріїв та ранжування об'єктів. Визначено перелік критеріїв оцінювання для попередньої оцінки перспектив інвестицій у вітчизняний мінерально-сировинний комплекс. Цей перелік базується на якісних і кількісних параметрах родовищ корисних копалин, геологічних, гірничотехнічних, технологічних передумовах освоєння, а також включає базові техніко-економічні показники. Проведено попереднє ранжування об'єктів вітчизняної МСБ за рівнем інвестиційної привабливості і ризиком інвестицій в промислове освоєння для головних груп горючих, металічних, неметалічних корисних копалин. Подальші дослідження передбачають розробку детальної методики оцінки інвести-

ційної привабливості родовищ і проявів корисних копалин як з точки зору інвестора, так і власника надр.

Список використаних джерел

1. Галецький Л.С. Україна має геологічний козырь, но не использует его / Л.С. Галецький // Капитал, 26 июня 2014, №097 (274) // www.capital.ua/ru/publication/23475.
2. Горючі корисні копалини України: підручник. / В.А. Михайлов, М.В. Курило, В.Г. Омеляченко та ін. – К.: "КНТ", 2009. – 376 с.
3. Гурський Д.С. Концептуальні засади державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин / Д.С. Гурський; наук. редактор В.А. Михайлов. – Львів: ЗУКЦ, 2008. – 192 с.
4. Довгий С.О. Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення / С.О. Довгий, В.М. Шестопалов, М.М. Коржнев та ін. – К.: Наукова думка, 2007. – 400 с.
5. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Т. 1. Металічні корисні копалини / Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. – Київ-Львів: "Центр Європи", 2006. – 785 с.
6. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Т. 2. Неметалічні корисні копалини / Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. – Київ-Львів: "Центр Європи", 2006. – 552 с.
7. Металічні корисні копалини України: підручник. / В.А. Михайлов, В.І. Шевченко, В.В. Огар та ін. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2007. – 463 с.
8. Михайлов В.А. Мінерально-сировинна база флюсової сировини України / В.А. Михайлов, М.М. Курило. – К.: Ніка-центр, 2010. – 200 с.
9. Михайлов В.А. Проблеми геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази марганцю України / В.А. Михайлов, М.М. Курило // Мін. ресурси України. – 2010. – № 3. – С. 8–14.
10. Михайлов В. Принципи геолого-економічної оцінки нетрадиційних ресурсів вуглеводнів / В. Михайлов, М. Курило, О. Андреева // Вісник КНУ. Геологія. – 2014. – № 2 (65). – С. 40–44.
11. Михайлов В.А. Базові терміни і поняття економічної геології: навч. посіб. / В.А. Михайлов, М.М. Курило – К.: ВПЦ "Київський університет", 2015. – 527 с.
12. Неметалічні корисні копалини України: підручник / В.А. Михайлов, Г.Ф. Виноградов, М.В. Курило та ін. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. – 494 с.
13. Основи економічної геології. Навчальний посібник / М.М. Коржнев, В.А. Михайлов, В.С. Міщенко та ін. – К.: "Логос", 2006. – 223 с.
14. Mykhailov V.A. Unconventional hydrocarbon deposits of Ukraine / V.A. Mykhailov // Cooperation of science and industry in hydrocarbon exploration and production. Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu. – Państwowe Instytutu Badawczego. – Krakow, 2016. – P. 55–66.

15. Mykhailov V. Estimation of flux reserve and resource base of Ukraine/ V. Mykhailov, M. Kurylo // Geology, Mineral Processing, Oil and Gas Exploration// Conference Proceedings. Vol. I. 15th GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. – Albena, Bulgaria. – 2015. – P. 135–140.

References

1. Galetskyy, L.S. (2014). Ukraine has a geological trump but does not use it. Capital, 097 (274) //www.capital.ua/ru/publication/23475/ [in Russian].
2. Mykhailov, V.A., Kurylo, M.V., Omelchenko, V.G., Monchak, L.S., Ogar, V.V., Zagnitko, V.M., Omelchuk, O.V., Shunko, V.V., Guliy, V.M., Mykhailova, L.S. (2009). Fossil fuels of Ukraine: Textbook. Kyiv, 376 p. [in Ukrainian].
3. Gurskii, D.S. (2008). Conceptual framework of state mineral policy for using of strategic important minerals. Lviv, 192 p. [in Ukrainian].
4. Dovguy, S.O., Shestopalov V.M., Korzhnev M.M. et al. (2007). Restrukturizatsiya mineralno-sirovinnoy bazy Ukrainy ta yu informatsiynye zabezpechennya. Kyiv, 400 p. [in Ukrainian].
5. Gurskii, D.S., Yesipchuk, K.Yu., Kalinin, V.I. et al. (2006). Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrainy. V. 1. Metalichni korysni kopalyny. Kyiv- Lviv, 785 p. [in Ukrainian].
6. Gurskii, D.S., Yesipchuk, K.Yu., Kalinin, V.I. et al. (2006). Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrainy. V. 2. Nemetalichni korysni kopalyny. Kyiv- Lviv, 552 p. [in Ukrainian].
7. Mykhailov, V.A., Shevchenko, V.I., Ogar, V.V. et al. (2007). Metal Minerals of Ukraine: textbook. Kyiv, 463 p. [in Ukrainian].

8. Mikhaylov, V.A., Kurylo, M.M. (2010). Mineral base of flux material of Ukraine. Kyiv, 200 p. [in Ukrainian].

9. Mikhaylov, V.A., Kurylo, M.M. (2010). Problems of geological and economic evaluation of manganese mineral resources in Ukraine. Mineral Resources of Ukraine, 3, 8-14. [in Ukrainian].

10. Mikhaylov, V., Kurylo, M., Andreeva, O. (2014). Principles of geological and economic evaluation of unconventional hydrocarbon resources. Vysnyk KNU. Geology, 2 (65), 40-44.

11. Mikhaylov, V.A., Kurylo, M.M. (2016). Basic Terms and Concepts of Economic Geology. Kyiv, 527 p. [in Ukrainian].

12. Mykhailov, V.A., Vynogradov, G.F., Kurylo, M.V. et al. (2008). Non-metal Minerals of Ukraine: textbook. Kyiv, 494 p. [in Ukrainian].

13. Korzhnev, M.M., Mykhailov, V.A., Mishchenko, V.S., Plotnikov, O.V., Shumlyanskiy, V.O., Kurylo, M.M., Sukhina, O.M. (2006). Principles of economic geology: textbook. Kyiv, 223 p. [in Ukrainian].

14. Mykhailov, V.A. (2016). Unconventional hydrocarbon deposits of Ukraine. Cooperation of science and industry in hydrocarbon exploration and production. Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu. Panstwowego Instytutu Badawczego. Krakow, 55–66.

15. Mykhailov, V., Kurylo, M. (2015). Estimation of flux reserve and resource base of Ukraine. Geology, Mineral Processing, Oil and Gas Exploration. Conference Proceedings. Vol. I. 15th GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Albena, Bulgaria, 135–140.

Надійшла до редколегії 07.11.16

V. Mykhailov, professor, D.Sc. in geology
E-mail: vladvam@gmail.com,

V. Zagnitko, professor, D.Sc. in geology
E-mail: zagnitkow@i.ua,

M. Kurylo, Ph.D. in geology, assistant professor of department of Geology of mineral deposits
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasyliivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

PROSPECTS FOR INVESTMENT IN MINERAL RESOURCES SECTOR OF UKRAINE

The article considers possibilities and conditions of attraction of investments into the domestic mineral resources base both for exploited deposits, to support and modernize existing fixed assets, and for deposits on the exploration and plant design stages. Currently mineral resources base comprises thousands of deposits with proven reserves that are exploited, and deposits that are potential investment targets. Mining and processing of mineral raw materials are asset-intensive industries, where construction and maintenance of expensive facilities, buying of mining and transport equipment are assumed. Investments in these sectors are typically large-scale projects with significant development terms, which is also associated with specific geological risk investments. The factors stated above define actuality of investment evaluation for domestic mineral resource base at various levels: local, individual mineral deposits, and regional and national ones to define the most strategic mineral materials.

It is recommended to choose priority projects for investment in mineral resources after assessment of investment attractiveness, which involves of absolute and relative criteria determination and ranking of sites. Methods of assessment depends on investment objectives which are as follows: 1) assessment of feasibility of capital investments for expansion and technical reequipment of existing mining enterprises; 2) selection of alternative deposits for investments; 3) purchase of securities of individual mining companies.

The list of evaluation criteria is defined for preliminary assessment of investment prospects in the domestic mineral complex. These criteria are based on qualitative and quantitative parameters of deposits, geological, mining, technological development conditions, and include main technical and economic indicators. Ranking of domestic mineral resources base objects is done for the major groups of fuel, metal and non-metallic minerals. Degree of investment attractiveness and level of investing risks in industrial development were used as main criteria.

Keywords: mineral resources, investment attraction, assessment of mineral deposits, exploration risks.

B. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vladvam@gmail.com,

B. Загнитко, д-р геол.-мин. наук, проф.
E-mail: zagnitkow@i.ua,

M. Курило, канд. геол. наук, доц.
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, м. Киев, 03022, Украина

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНВЕСТИЦИЙ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС УКРАИНЫ

Рассмотрены возможности и предпосылки привлечения инвестиций в отечественную минерально-сырьевую базу, как для месторождений, которые разрабатываются (для поддержки и модернизации действующих основных фондов), так и для объектов на стадии геологического изучения и проектирования предприятий. Минерально-сырьевая база сейчас насчитывает тысячи разведанных месторождений, находящихся в разработке, и месторождений, которые выступают в качестве возможных объектов инвестирования. Добыча и переработка минерального сырья являются фондоемкими отраслями, предполагающими создание и эксплуатацию дорогостоящих сооружений, приобретение горного и транспортного оборудования. Инвестиции в эти отрасли, как правило, являются масштабными проектами со значительными сроками освоения месторождений, что связано также со специфическими геологическими рисками инвестиций. Перечисленные факторы определяют актуальность проведения инвестиционной оценки отечественной минерально-сырьевой базы на разных уровнях: локальном – для отдельных месторождений полезных ископаемых, и региональном и государственном – для определения наиболее стратегических видов минерального сырья.

Выбор первоочередных объектов для капиталовложений в сфере недропользования целесообразно проводить по результатам оценки инвестиционной привлекательности, которая предполагает определение абсолютных и относительных критериев, а также ранжирование объектов. Методика оценки зависит от целей инвестирования, которые могут быть следующими: 1) оценка целесообразности капитальных инвестиций для расширения и технического перевооружения действующих добывающих предприятий; 2) выбор альтернативных месторождений для инвестиций; 3) покупка ценных бумаг отдельных добывающих компаний.

Определен перечень критериев для предварительной оценки перспектив инвестиций в объекты отечественного минерально-сырьевого комплекса. Критерии основываются на качественных и количественных параметрах месторождений, геологических, горнотехнических, технологических условиях освоения, а также включают базовые технико-экономические показатели. Проведено ранжирование объектов отечественной минерально-сырьевой базы по степени инвестиционной привлекательности и уровню рисков инвестирования в промышленное освоение для основных групп топливных, металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, инвестиционная привлекательность, оценка месторождений полезных ископаемых, риски освоения.

УДК 549: 553. 31 (477.63)

В. Стрельцов, асп.
E-mail: mister.strelcov@bk.ru,В. Євтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com,А. Євтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva_anna@mail.ru,
Криворізький національний університет
вул. Пушкіна, 37, м. Кривий Ріг, 50002, Україна

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ МІНЕРАЛОГІЧНОЇ ЗОНАЛЬНОСТІ ЗАЛІЗОРУДНИХ РИБЕКІТОВИХ МЕТАСОМАТИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Загнітком)

Натрієвий метасоматоз відноситься до епігенетичних геологічних процесів, які мали суттєвий вплив на мінералогічні показники та збагачуваність метаморфогенних бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів). Він спричинив утворення егіринових та рибекітових метасоматитів у продуктивних товщах шести з дев'яти залізрудних родовищ, що розробляють чотири гірничозбагачувальні комбінати Криворізького басейну. Рибекітові метасоматити формувались при відносно низьких термодинамічних показниках середовища мінералоутворення, тому мають значно більше поширення в порівнянні з егіриновими, відповідно, 90 та 10% від загального об'єму тіл метасоматично змінених руд.

Тіла рибекітових метасоматитів, що були об'єктом дослідження авторів, мають максимальну потужність за умови їх утворення у верствах безсилікатних залізностлюдо-магнетитових (до 100 м, середній показник – 56 м) та магнетитових (до 70 м, в середньому 47 м) кварцитів, які складають центральні частини залізистих горизонтів саксаганської світи. За рахунок кумінгтоніт-магнетитових та магнетит-кумінгтонітових кварцитів з периферійних зон горизонтів утворювались тіла рибекітових (магнезіорибекітових) метасоматитів значно меншої потужності, відповідно, до 30 та до 15 м (в середньому 19 і 8 м).

Незважаючи на мінеральний склад вихідних магнетитових кварцитів, тіла рибекітових метасоматитів характеризуються аналогічною внутрішньою будовою. Тілова зона, яка безпосередньо прилягає до підвідного каналу метасоматизуючих розчинів, представлена магнетит-рибекітовими метасоматитами. Проміжну зону складають різною мірою рибекітизовані першинні магнетитові кварцити. Передова зона, яку представляють вторинно окварцовані магнетитові кварцити, формувалась внаслідок "відгонки" відпрацьованих метасоматизуючих розчинів, насичених кремнеземом. Для передової зони характерні поступові переходи до незмінених магнетитових кварцитів.

Головним трендом мінералогічних змін магнетитових кварцитів у зв'язку з натрієвим метасоматозом було наближення їх складу до практично бімінерального – магнетит + рибекіт (магнезіорибекіт). Рибекіт, близький за складом до стехіометричного, характерний для метасоматитів, які утворились по залізностлюдо-магнетитових та магнетитових кварцитах. При рибекітизації кумінгтоніт-магнетитових і магнетит-кумінгтонітових кварцитів відбувалось, переважно, псевдоморфне заміщення кумінгтоніту натрієвим амфіболом, склад якого відповідає магнезіорибекіту.

Результати мінералогічного дослідження рибекітових метасоматитів є основою для вдосконалення методів геологічного, мінералогічного, технологічного картування рудних покладів, корегування мінералого-технологічних класифікацій руд, оптимізації методів усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики.

Ключові слова: залізисто-кремниста формація, Криворізький басейн, натрієві метасоматити, мінералогія.

Постановка проблеми. Початок ХХІ століття характеризується проявом спадів промислового виробництва і, як наслідок, зменшенням потреб у залізрудній сировині. З останнім тісно пов'язане зростання вимог металургійних підприємств до якості залізрудного концентрату, аглоконцентрату, агломераційної руди. По відношенню до залізрудного концентрату це означає підвищення вмісту в його складі заліза з 64-66 до 68-69 мас.%. Досягнення цього неможливе без переоцінки залізних руд, уточнення їх мінералогічних і технологічних класифікацій, оптимізації за даними детальних мінералогічних досліджень технологій видобутку руд, усереднення рудного матеріалу перед подачею на збагачувальні фабрики, способів рудопідготовки та виробництва концентрату [2, 7, 10].

До головних чинників, які ускладнюють вирішення задачі підвищення показників збагачення залізних руд, відноситься їх неоднорідність за мінеральним, хімічним складом, структурою, текстурою. Ця варіативність спричинена проявом геологічних процесів, в ході яких утворились рудні поклади: 1) седиментація (спричинила неоднорідність складу вихідних залізисто-кремнистих осадків); 2) метаморфізм (викликав різний ступінь перекристалізації осадового матеріалу в різних термодинамічних умовах динамотермального метаморфізму); 3) тектонічні процеси (обумовили неоднорідність перекристалізації руд у зв'язку з плікативними та дезінтеграції в зв'язку з диз'юнктивними порушеннями); 4) метасоматоз (викликав локальний прояв дії вуглекисло-натрієвих гідротермальних розчинів на руди); 5) гіпергенез (спричинив різний ступінь вивітрювання залізних руд).

Натрієвого метасоматозу зазнали породи залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну, метаморфізовані в умовах різних фацій динамотермального метаморфізму. Найбільш активно метасоматоз проявлений у межах Первомайського, Ганнівського, Валявкинського, Інгuleцького, Петрівського, Артемівського родовищ, залізисті породи яких метаморфізовані в умовах епідот-амфіболітової фації. Магнетитові кварцити, які складають залізисті горизонти цих родовищ, зазнали впливу вуглекисло-натрієвих розчинів, температура яких коливалась у межах 300-500^оС, флюїдний тиск складав 150-300 МПа і які характеризувались високою активністю натрію та фугітивністю кисню. В результаті магнетитові кварцити перетворились на рибекіт-магнетит-егіринові метасоматити (егіриніти), магнетит-рибекітові метасоматити (рибекітити), рибекіт-магнетитові, залізностлюдо-рибекіт-магнетитові кварцити [3, 4, 8]. У сланцевих горизонтах, прилеглих до зон активного натрієвого метасоматозу залізистих кварцитів, за рахунок біотит-кварц-мусковітових сланців формувались тіла кварц-хлорит-альбітових метасоматитів (альбітитів) [4].

Утворення егіринітів відбувалось за умов найбільш високих термодинамічних показників розчинів, тому їх поширення є відносно невисоким у порівнянні з поширенням рибекітових метасоматитів. За даними підрахунків авторів цієї статті, виконаних для продуктивних товщ Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського Інгuleцького, Валявкинського родовищ, які розробляються Північним, Центральним, Інгuleцьким та Новокириворізьким гірничозбагачувальними комбінатами, кількість егіринових метасоматитів становить 10,3% від загального об'єму покладів метасоматично

змінених магнетитових кварцитів; кількість рибекітових метасоматитів, відповідно, – 89,7%. Альбітити в межах досліджених родовищ зустрічаються досить рідко; через відсутність у їх складі магнетиту вони не розглядаються як залізорудна сировина. В зв'язку з максимальним проявом – саме рибекітизація розглядається як метасоматичний процес, що найбільшою мірою вплинув на мінералогічні властивості та, як наслідок, на технологічні показники магнетитових кварцитів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Рибекітові метасоматити відносяться до найбільш глибоко вивчених геологічних утворень залізисто-кремнистої формації Кривбасу. Попередні дослідники зосереджувались на питаннях природи метасоматизуючих розчинів, локалізації метасоматичних тіл, неоднорідності їх будови, варіативності мінерального та хімічного складу, металогенії [1-6, 8-10]. Пік активності цих досліджень припадає на 60-80 рр. XX ст. Протягом останніх 30 років натрієві, в тому числі рибекітові метасоматити привертати до себе значно менше уваги. В той же час, у цей період максимального розвитку набув видобуток натрієвих метасоматитів як залізорудної сировини. Постає потреба виконання досліджень їх прикладної мінералогії, в тому числі спрямованих на підвищення ефективності геологічного, мінералогічного та технологічного картування залізорудних покладів. Стосовно натрієвих метасоматитів важливим у цьому відношенні аспектом є вивчення мінералогічної зональності їх тіл. Вона досить детально була описана для різновидів тіл, які характеризуються присутністю тилової зони егіринітів [3-6, 8]. Але гірничодобувні роботи останніх років показали, що натрієві метасоматити такого складу, як зазначено вище, зустрічаються значно рідше в порівнянні з безегіриновими метасоматитами магнетит-рибекітового, рибекіт-кварц-магнетитового, залізнослюдо-рибекіт-кварц-магнетитового складу.

Метою авторів було визначення головних закономірностей зональності рибекітових метасоматитів як сировини для виробництва залізорудного концентрату. Досягненню мети сприяло вирішення наступних завдань: 1) виявлення тектонічно не порушених метасоматичних тіл для визначення закономірностей їх мінералогічної зональності; 2) опробування метасоматитів по мінералогічних зонах; 3) мінералогічне дослідження метасоматитів різних зон; 4) встановлення закономірностей зміни вмісту рудоутворювальних і другорядних мінералів у відповідності з зональністю метасоматичних тіл.

Результати досліджень та їх обговорення. Зональність є однією з фундаментальних властивостей залізисто-кремнистої формації. В розрізі саксаганської світи криворізької серії вона проявлена закономірною варіативністю петрографічних, мінералогічних, хімічних показників порід, які складають залізисті та сланцеві горизонти; на рівні стратиграфічних горизонтів – їх аутигенно-мінералогічною зональністю; на рівні верств, складених окремими мінеральними різновидами залізистих порід – ритмічним чергуванням прошарків певного складу. Ці види мінералогічної зональності є результатом прояву седиментації, діагенезу та динамотермального метаморфізму залізисто-кремнистих осадових утворень. Натрієвий метасоматоз максимальною мірою проявився в залізистих горизонтах саксаганської світи, спричинив накладення метасоматичної зональності на їх метаморфогенну зональність.

У формуванні тіл рибекітових метасоматитів провідну роль крім стратиграфічного, відігравав також тектонічний фактор. Проникнення метасоматизуючих розчинів відбу-

валось по розломах, зонах брекчіювання, кліважування, дисгармонійної складчастості залізистих кварцитів, поверхонь нашарування проверстків і верств різного мінерального складу. Навколо тектонічних порушень, що каналізували розчини, утворювались тіла натрієвих метасоматитів, для яких властива мінералогічна зональність. Для егіринвісних метасоматитів [3, 8], за умови повного прояву зональності, спостерігається така зміна метасоматичних зон у напрямку від підвідного каналу до периферії метасоматичних тіл: зона егіринізації → зона рибекітизації → зона окварцування → зона слабо і не повсемірно проявленої карбонізації → незмінні залізисті кварцити. У випадку понижених значень основних термодинамічних показників метасоматизуючих розчинів (температура, флюїдний тиск, активність натрію, фугитивність кисню) зони егіринізації не утворювались, і в центральних частинах метасоматичних тіл формувались зони рибекітизації первинних магнетитових кварцитів.

Результати польових і лабораторних мінералогічних досліджень авторів статті підтвердили дані попередників і дозволили уточнити їх для безегіринових метасоматитів. У роботах [3, 8] розглядалось утворення зональних метасоматичних тіл по залізистих кварцитах однакового первинного мінерального та хімічного складу, але для родовищ Криворізького басейну численними є прояви нестабільності цих показників. У зв'язку з цим основна увага була приділена визначенню особливостей формування мінералогічної зональності тіл рибекітових метасоматитів по неоднорідних за складом первинних залізистих породах, які характерні для приконтаткових зон залізистих горизонтів, тіл крупноглибових брекчій змішаного складу та ін. Мінералогічне картування таких метасоматичних тіл показало наступне:

1) положення тіл визначалось положенням підвідних каналів (Рис. 1, 2);

2) активність рибекітизації залізистих порід визначалась їх мінеральним складом: найбільш інтенсивних метасоматичних змін зазнавали залізнослюдо-магнетитові кварцити центральних частин залізистих горизонтів; в напрямку до периферійних зон в ряду магнетитові кварцити → кумінгтоніт-магнетитові кварцити → магнетит-кумінгтонітові кварцити активність метасоматозу зменшувалась.

На рис.1 показана зміна потужності тіла рибекітових метасоматитів з приконтаткової частини п'ятого залізистого та третього-п'ятого сланцевого горизонтів Первомайського родовища. Залізисті кварцити тут характеризуються нестабільністю мінерального складу. В напрямку від центральної до периферійної частини п'ятого залізистого горизонту спостерігається зміна верств залізнослюдо-магнетитових кварцитів верствами червоношаруватих та сірошаруватих магнетитових кварцитів, потім кумінгтоніт-магнетитових, а на контакті з третім-п'ятим сланцевим горизонтом – магнетит-кумінгтонітових кварцитів. Потужність верств залізистих кварцитів різного мінерального складу незначна в порівнянні з розмірами метасоматичного тіла. Тому можна спостерігати, як змінюється нормальна потужність метасоматичного тіла: в межах верстви залізнослюдо-магнетитових кварцитів вона становить 25-35 м; у межах верстви магнетитових кварцитів – 15-25 м; кумінгтоніт-магнетитових кварцитів – 5-15 м; магнетит-кумінгтонітових кварцитів – до 5 м. У товщі порід третього-п'ятого сланцевого горизонту метасоматичний процес згасав.

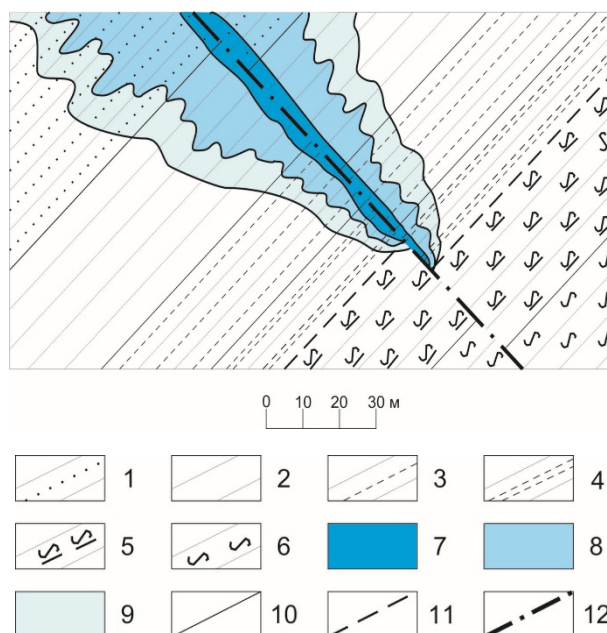


Рис. 1. Зміна потужності тіла рибекітових метасоматитів, яке утворилось по залізистих кварцитах різного мінерального складу (Первомайське родовище):

- 1-6 – первинні залізисті породи п'ятого залізного та третього-п'ятого сланцевого горизонтів:
 1 – кварцити залізнослюдко-магнетитові; 2 – кварцити магнетитові; 3 – кварцити кумінгтоніт-магнетитові;
 4 – кварцити магнетит-кумінгтонітові; 5 – сланці біотит-кварц-кумінгтонітові; 6 – сланці кварц-біотитові;
 7-9 – зони метасоматичного тіла: 7 – магнетит-рибекітових метасоматитів; 8 – рибекіт-магнетитових кварцитів;
 9 – окварцованих магнетитових кварцитів; 10 – лінії контактів верств вмісних залізистих порід і зон метасоматичного тіла;
 11 – лінія контакту залізного та сланцевого горизонтів; 12 – розривне порушення

Визначення розміру (в поперечному перетині) 26 тіл рибекітових метасоматитів з різних ділянок Первомайського родовища показало, що зазначена закономірність зберігається для більшості з них. Потужність метасоматичних тіл, утворених у верствах залізнослюдко-магнетитових кварцитів досягає 100 м (середній показник – 56 м); у верствах магнетитових кварцитів до 70 м (в середньому 47 м); кумінгтоніт-магнетитових кварцитів до 30 м (в середньому 19 м); магнетит-кумінгтонітових кварцитів до 15 м (в середньому 8 м).

Залежність інтенсивності рибекітизації, потужності та ступеню прояву метасоматичних зон від складу вихідних порід добре проявлена також у зонах крупноуламкових брекчій, які були каналами фільтрації метасоматизуючих розчинів. На рис. 2 наведено схематичне зображення тіла рибекітових метасоматитів по такій зоні. Максимальна потужність метасоматичного тіла фіксується для уламків залізнослюдко-магнетитових кварцитів, проміжна – для уламків магнетитових кварцитів, мінімальна – для кумінгтоніт-магнетитових кварцитів. Уламки сланців практично не зазнавали рибекітизації.

Вивчення особливостей внутрішньої будови досліджених метасоматичних тіл Первомайського родовища показало, що, незважаючи на різний мінеральний і хімічний склад первинних магнетитових кварцитів, зональність метасоматичних тіл аналогічна.

Вздовж тектонічних порушень, як каналів інфільтрації розчинів, формувались зони магнетит-рибекітових метасоматитів. В їх межах спостерігається практично повне заміщення рибекітом кварцу як нерудних, так і рудних прошарків вихідних магнетитових кварцитів та часткове (близько 30 об'ємн.% від первинного вмісту) заміщення магнетиту в рудних прошарках. Індивіди магнетиту зазнавали перекристалізації з укрупненням та вдосконаленням їх кристалографічних форм. Рудні прошарки первинних магнетитових кварцитів зберігались. В разі утворення натрієвих метасоматитів по кумінгтоніт-магнетитових та магнетит-кумінгтонітових кварцитах у межах цієї зони відбувалось повне заміщення кварцу, псевдоморфізація кумінгтоніту рибекітом з утворенням магнезіюрибекіту та незначне заміщення останнім магнетиту (близько 10 об'ємн.% від первинного його вмісту у вихідній породі). До другорядних мінералів цієї зони відноситься егірин, який локально присутній у вигляді окремих кристалів або радіально-променистих агрегатів. Максимальна потужність зони магнетит-рибекітових метасоматитів фіксується в розрізах метасоматичних тіл, які утворювались за рахунок первинних безсилікатних залізнослюдко-магнетитових та магнетитових кварцитів. Для 26 досліджених метасоматичних тіл цей показник коливається в межах від 1 до 30 м і зазвичай складає 5-15 м.

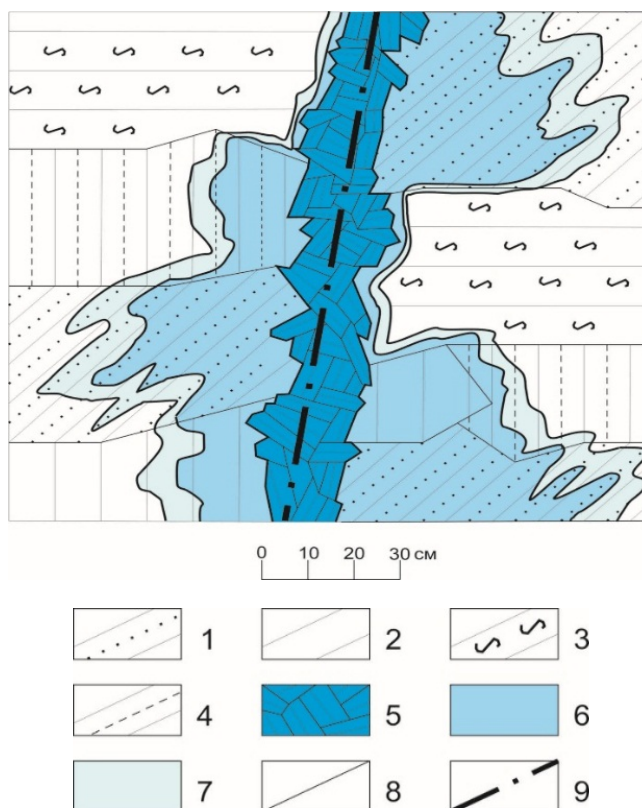


Рис. 2. Варіативність потужності тіла рибекітових метасоматитів, яке формувалось по різних за мінеральним складом залізистих породах крупноуламкової брекчії південної частини Ганнівського родовища:

- 1-4 – первинні залізисті породи: 1 – кварцити залізностлюдко-магнетитові; 2 – кварцити магнетитові;
 3 – кварцити кумінгтоніт-магнетитові; 4 – сланці біотит-кварц-кумінгтонітові; 5-7 – зони метасоматичного тіла:
 5 – магнетит-рибекітових метасоматитів; 6 – рибекіт-магнетитових кварцитів; 7 – окварцованих магнетитових кварцитів;
 8 – лінії контактів тіл різних за складом залізистих порід; 9 – розривне порушення

З віддаленням від підвідних каналів і, внаслідок цього, зі зменшенням активності метасоматизуючого впливу розчинів формувалась зона рибекітизованих магнетитових кварцитів. Спостерігається наступна стадійність зростання інтенсивності метасоматичного процесу. Утворення рибекіту розпочиналось з контакту рудних і нерудних прошарків, потім процес поступово захоплював рудні прошарки та частково нерудні. Від тилової зони магнетит-рибекітових метасоматитів ця зона відрізняється збереженням (різною мірою) нерудних (кварцових, залізностлюдко-кварцових, кумінгтоніт-кварцових) прошарків первинних магнетитових кварцитів. У нерудних прошарках, а при слабкому проявленні метасоматозу – і в рудних прошарках зберігались реліктові мінерали: залізна слюдка, кумінгтоніт та другорядний за поширенням біотит. При утворенні метасоматитів цієї зони за рахунок кумінгтоніт-магнетитових і магнетит-кумінгтонітових кварцитів також було характерним псевдоморфне заміщення кумінгтоніту магнезіорибекітом. Потужність зони рибекіт-магнетитових кварцитів в розрізах досліджених метасоматичних тіл досягає 50 м, а найчастіше становить 10-40 м.

В зв'язку з частковим розчиненням кварцу і винесенням кремнезему відпрацьованими метасоматизуючими розчинами за межі зон магнетит-рибекітових метасоматитів і рибекіт-магнетитових кварцитів – формувались

зони вторинного окварцування первинних магнетитових кварцитів різного мінерального складу. Спостерігається виповнення кварцом тріщин, цементування брекчій, заповнення інших порожнин у вмісних магнетитових кварцитах та незначне метасоматичне заміщення кварцом мінералів вихідних порід (магнетиту, залізної слюдки, кумінгтоніту). Потужність зон вторинного окварцування досягає 20 м, зазвичай складає 5-10 м. Зона вторинного окварцування магнетитових кварцитів характеризується поступовими переходами до незмінених їх різновидів.

На регресивній стадії натрієвого метасоматозу під впливом залишкових порцій метасоматизуючих розчинів утворювались низькотемпературні силікати (переважно, шаруваті), а також карбонати, сульфіді. Зазвичай, вони виповнюють малопотужні (до 30 мм) січні прожилки – найчастіше в проміжній та передовій зонах метасоматичних тіл. Найбільш поширеними епігенетичними мінералами є тетраферибіотит, селадоніт, залізистий тальк (мінесотаїт), кальцит, доломіт, пірит, піротин, апатит.

Кількісні співвідношення мінералів у складі рибекітових метасоматитів Первомайського родовища та вмісних магнетитових кварцитів різного складу були визначені за результатами підрахунків у 227 прозорих і 227 полірованих шліфах (Табл. 1). Наведені дані свідчать про спрощення мінерального складу метасоматитів у напрямку від передових до тилових зон.

Таблиця 1. Вміст породоутворювальних і другорядних мінералів (об'ємн.%) у складі рибекітових метасоматитів і незмінених вмісних магнетитових кварцитів Первомайського родовища

Мінерали	Зони метасоматичних тіл*			
	1	2	3	4
магнетит	22,48	24,51	28,03	29,15
кварц	3,79	37,93	56,67	53,68
гематит (залізна слюдка)	0,78	1,81	3,04	3,89
кумінгтоніт	0,06	3,61	7,22	10,97
біотит	0,00	0,11	0,16	0,19
рибекіт, магнезіорибекіт	69,78	29,19	1,46	0,00
егірин	1,42	0,15	0,00	0,00
тетраферібіотит	0,10	0,56	0,25	0,01
селадоніт	0,06	0,23	0,44	0,03
Fe-талк (мінесотаїт)	0,00	0,12	0,33	0,02
карбонати (кальцит, доломіт)	0,83	1,10	1,47	0,95
сульфіди (пірит, піротин)	0,25	0,20	0,21	0,18
апатит	0,13	0,09	0,07	0,06
інші мінерали	0,32	0,39	0,65	0,87
Загалом	100,00	100,00	100,00	100,00
Кількість визначень	42	69	51	65

*Зони метасоматичних тіл: 1 – магнетит-рибекітових метасоматитів; 2 – рибекіт-магнетитових кварцитів; 3 – окварцованих магнетитових кварцитів; 4 – незмінні магнетитові кварцити.

Висновки.

1. Рибекітові метасоматити – найбільш поширений мінеральний різновид залізорудних натрієвих метасоматитів, до яких також відносяться егіринові та альбітові різновиди. Рибекітові метасоматити складають близько 90% від загального об'єму метасоматично змінених бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) продуктивних товщ шести з дев'яти залізорудних родовищ, які розробляються чотирма з п'яти гірничозбагачувальних комбінатів Криворізького басейну. Рибекітизація значною мірою вплинула на мінералогічні показники та збагачуваність первинних метаморфогенних бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів).

2. Максимальну потужність тіла рибекітових метасоматитів мають за умови їх утворення у верствах безсилікатних залізнослюдко-магнетитових (до 100 м, середній показник 56 м) та магнетитових (до 70 м, в середньому 47 м) кварцитів, які складають центральні частини залізистих горизонтів саксаганської світи. За рахунок кумінгтоніт-магнетитових та магнетит-кумінгтонітових кварцитів з периферійних частин горизонтів утворювались тіла рибекітових (магнезіорибекітових) метасоматитів значно меншої потужності, відповідно, до 30 та до 15 м (в середньому 19 і 8 м).

3. Тіла рибекітових метасоматитів, що формувались по вихідних магнетитових кварцитах різного мінерального складу, характеризуються аналогічною внутрішньою будовою. Типову зону їх складають магнетит-рибекітові метасоматити; проміжну – різною мірою рибекітизовані первинні магнетитові кварцити; передову – вторинно окварцовані магнетитові кварцити, які формувались внаслідок "відгонки" відпрацьованих метасоматизуючих розчинів, насичених кремнеземом.

4. Типова зона характеризується бімінеральним (рибекіт+магнетит) складом; у породах проміжної та передової зон суттєву роль відіграє реліктовий кварц. Вміст другорядних мінералів (егірин, тетраферібіотит, селадоніт, мінесотаїт, кальцит, доломіт та ін.) незначний і не перевищує 1,5 об'ємн.% для кожного.

5. Результати мінералогічного дослідження рибекітових метасоматитів є основою для вдосконалення методів геологічного, мінералогічного, технологічного картування рудних покладів, корегування мінералогічно-технологічних класифікацій руд, оптимізації методів усе-реднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики.

Список використаних джерел

1. Александров И.В. Натровый метасоматоз в Криворожье / И.В. Александров // Геохимия щелочного метасоматоза. – Москва: Изд. АН СССР, 1963. – С. 71–151.
2. Евтехов В.Д. Особенности минералогического картирования месторождений в метасоматически измененных железистых кварцитах (на примере Кривбасса) / В.Д. Евтехов // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. – Киев: Наукова думка, 1988. – С. 82–92.
3. Евтехов В.Д. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / В.Д. Евтехов, Г.П. Зарайский, В.Н. Балашов, О.К. Валева // Очерки физико-химической петрологии. – Москва: Наука, 1988. – № 15. – С. 17–37.
4. Елисеев Н. А. Метасоматиты Криворожского рудного пояса / Н.А. Елисеев, А.П. Никольский, В.Г. Кушев // Труды Лаборатории геологии докембрия АН СССР. – Москва-Ленинград: Изд. АН СССР, 1961. – Вып. 13. – 204 с.
5. Кушев В.Г. Щелочные метасоматиты докембрия / В. Г. Кушев. – Ленинград: Недра, 1972. – 190 с.
6. Никольский А. П. Натриевые гидротермальные метасоматиты юго-западной части Русской платформы / А.П. Никольский // Геологический журнал. – 1973. – №2. – С. 31–44.
7. Пирогов Б.И. Технологическая минералогия железных руд / Б.И. Пирогов, Г.С. Порохов, И.В. Холошин, В.Н. Тарасенко. – Ленинград: Наука, 1988. – 302 с.
8. Пирогов Б.И. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Минералогия / Б.И. Пирогов, Ю.Н. Стебновская, В.Д. Евтехов и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 169 с.
9. Стрельцов В.О. Генезис і типоморфні особливості рибекіту залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну / В.О. Стрельцов // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. VII Міжнародна науково-практична конференція. Збірник тез доповідей. – Кривий Ріг, 2012. – С. 65–68.
10. Стрельцов В. О. Вплив рибекітизації на збагачуваність магнетитових руд Первомайського родовища Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, А. В. Євтехова, Є. В. Євтехов // Міжнародна науково-технічна конференція. Сталій розвиток промисловості та суспільства. Збірник тез доповідей. – Кривий Ріг, 2014. – С. 12–16.

References

1. Aleksandrov I.V. (1963). Sodium metasomatism in Krivorozye. Geochemistry of alkali metasomatism. Moscow: Publishing house of USSR Academy of sciences, 71-151. [In Russian].
2. Evtekhov V.D. (1988). Features of mineralogical and technological mapping of deposits in metasomatically altered ferruginous quartzites (at the example of Kryvbas). Mineral ontogeny and technological mineralogy. Kiev: Naukova dumka, 82-92. [In Russian].
3. Evtekhov V.D., Zarayskiy G.P., Balashov V.N., Valeyev O.K. (1988). Zoning of sodium metasomatism in ferruginous quartzites of the Northern Krivorozye. Physicochemical petrology essays. Moscow: Nauka, 15, 17-37. [In Russian].
4. Eliseyev N.A., Nikolskiy A.P., Kushev V.G. (1961). Metasomatites of Krivoy Rog ore belt. Proceedings of the Laboratory of Precambrian geology of USSR Academy of Sciences. Moscow-Leningrad: Publishing house of USSR Academy of sciences, 13, 204 p. [In Russian].
5. Kushev V.G. (1972). Alkaline metasomatites of the Precambrian. Leningrad: Nedra, 190 p. [In Russian].
6. Nikolskiy A.P. (1973). Sodium hydrothermal metasomatites of south-western part of the Russian platform. Geological journal, 2, 31-44. [In Russian].

7. Pirogov B.I., Porotov G.S., Holoshin I.V., Tarasenko V.N. (1988). Technological mineralogy of iron ores. Leningrad: Nauka, 302 p. [In Russian].

8. Pirogov B.I., Stebnovskaya Yu.M., Evtekhov V.D. et al. (1989). Precambrian banded iron formations of the European part of the USSR. Mineralogy. Kiev: Naukova dumka, 168 p. [In Russian].

9. Streltsov V.O. (2012). Genesis and typomorphic peculiarities of riebeckite of the banded iron formation in the Kryvyi Rih basin. Problems of theoretical and applied mineralogy, geology, metallogeny of mining regions.

VII International scientific-practical conference. Collection of abstracts. Kryvyi Rih, 65-68. [In Ukrainian].

10. Streltsov V.O., Evtekhova A.V., Evtekhov V.D. (2014). Riebeckitization influence on dressability of magnetite ore from Pervomayske deposit in the Kryvyi Rih basin. Sustainable development of industry and society. International scientific-technical conference. Collection of abstracts. Kryvyi Rih, 12-16. [In Ukrainian].

Надійшла до редколегії 07.11.16

V. Streltsov, PhD student
E-mail: mister.strelcov@bk.ru,

V. Evtekhov, Doctor of Geol. Sciences, prof.
E-mail: evtekhov@gmail.com,

A. Evtekhova, PhD. of Geol. Sciences, Assoc. Pr.
E-mail: eva_anna@mail.ru
Kryvyi Rih National University
37 Pushkina Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine

SOME MINERALOGICAL ZONING FEATURES OF IRON ORE RIEBECKITE METASOMATITES IN THE KRYVYI RIH BASIN

Sodium metasomatism relates to epigenetic geological processes that had substantial impact on mineralogical indicators and washability of metamorphogenic low-grade magnetite ores (magnetite quartzites). It led to the formation of aegirine and riebeckite metasomatites, represented in productive strata of six out of nine iron ore deposits, exploited by four out of five Iron Ore Mining and Processing Works in the Kryvyi Rih basin. Riebeckite metasomatites, formed at relatively low thermodynamic factors of mineral formation medium, have much larger distribution in comparison to aegirine ones, that are 90 and 10% respectively of the total volume of metasomatic bodies.

Riebeckite metasomatites, analyzed in this paper, have the maximum thickness provided their formation took place in strata of silicateless micaceous hematite-magnetite (up to 100 m, 56 m in average) and magnetite (up to 70 m, with an average of 47 m) quartzites, which make up the central part of the ferruginous horizons of the Saksagan suite. Bodies of riebeckite (magnesian riebeckite) metasomatites of significantly lower thickness up to 30 and up to 15 m (19 m and 8 m in average) respectively were formed from cummingtonite-magnetite and magnetite-cummingtonite quartzite of peripheral zones of horizons.

Despite the mineral composition of initial magnetite quartzites, the bodies of riebeckite metasomatites are characterized by similar internal structure. The rear zone, which is adjacent to the conduits supplying metasomatizing solutions, is represented by magnetite-riebeckite metasomatites. The intermediate zone consists of varying degrees of riebeckitized primary magnetite quartzites. Front zone, which is made up of the secondary quartzous magnetite quartzites, was formed as a result of a "run-down" of waste metasomatizing solutions rich in silica. Gradual transition to the unmodified magnetite quartzites is typical for the front zone.

The main trend of mineralogical changes in magnetite quartzites due to sodium-metasomatism was approximation of their composition to practically bimimetic, that is magnetite + riebeckite (magnesian riebeckite), one. Riebeckite having composition close to the stoichiometric one, is typical for metasomatic rocks, which were formed within micaceous hematite-magnetite and magnetite quartzites. When riebeckitizing cummingtonite-magnetite and magnetite-cummingtonite quartzites mainly pseudomorphic replacement of cummingtonite by sodium amphibole occurred, the composition of the latter corresponds to magnesian riebeckite.

The results of the mineralogical studies of riebeckite metasomatites are the basis for refining methods of geological, mineralogical, technological mapping of ore deposits, for correcting mineralogical and technological classifications of ores, for optimizing methods of ore homogenization before being fed to the processing plants.

Keywords: banded-iron formation, Kryvyi Rih basin, sodium metasomatic rocks, mineralogy.

B. Стрельцов, асп.
E-mail: mister.strelcov@bk.ru,

B. Евтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com,

A.B. Евтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva_anna@mail.ru
Криворожский национальный университет
ул. Пушкина, 37, г. Кривой Рог, 50002, Украина

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ РИБЕКИТОВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Натриевый метасоматоз относится к эпигенетическим геологическим процессам, которые имели существенное влияние на минералогические показатели и обогатимость метаморфогенных бедных магнетитовых руд (магнетитовых кварцитов). Он стал причиной образования эгиритовых и рибекитовых метасоматитов в продуктивных толщах шести из девяти железорудных месторождений, которые разрабатывают четыре из пяти горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна. Рибекитовые метасоматиты формировались при относительно низких термодинамических показателях среды минералообразования, поэтому имеют значительно большее распространение в сравнении с эгиритовыми, соответственно, 90 и 10% от общего объема тел метасоматически измененных руд.

Тела рибекитовых метасоматитов, которые были объектом исследования авторов, имеют максимальную мощность при условии их образования в пластах бессиликатных железнослюдко-магнетитовых (до 100 м, средний показатель – 56 м) и магнетитовых (до 70 м, в среднем 47 м) кварцитов, которые составляют центральные части железистых горизонтов саксаганской свиты. За счет куммингтонит-магнетитовых и магнетит-куммингтонитовых кварцитов периферийных зон горизонтов образовывались тела рибекитовых (магнезиорибекитовых) метасоматитов значительно меньшей мощности, соответственно, до 30 и до 15 м (в среднем 19 и 8 м).

Несмотря на минеральный состав исходных магнетитовых кварцитов, тела рибекитовых метасоматитов характеризуются аналогичным внутренним строением. Тыловая зона, которая непосредственно прилегает к подводящему каналу метасоматизирующих растворов, представлена магнетит-рибекитовыми метасоматитами. Промежуточную зону составляют в разной степени рибекитизированные первичные магнетитовые кварциты. Передовая зона, которую представляют вторично окварцованные магнетитовые кварциты, формировалась в результате "отгонки" отработанных метасоматизирующих растворов, насыщенных кремнеземом. Для передовой зоны характерны постепенные переходы к неизменным магнетитовым кварцитам.

Главным трендом минералогических изменений магнетитовых кварцитов, в связи с натриевым метасоматозом, было приближение их состава к практически биминеральному – магнетит + рибекит (магнезиорибекит). Рибекит, близкий по составу к стехиометрическому, характерен для метасоматитов, которые образовались по железнослюдко-магнетитовым и магнетитовым кварцитам. При рибекитизации куммингтонит-магнетитовых и магнетит-куммингтонитовых кварцитов происходило, преимущественно, псевдоморфное замещение куммингтонита натриевым амфиболом, состав которого отвечает магнезиорибекиту.

Результаты минералогического исследования рибекитовых метасоматитов являются основой для усовершенствования методов геологического, минералогического, технологического картирования рудных залежей, корректирования минералогическо-технологических классификаций руд, оптимизации методов усреднения руд перед подачей на обогатительные фабрики.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, натриевые метасоматиты, минералогия.

УДК 553.493.5(477)

В. Загнітко, д-р геол.-мін. наук, проф.
E-mail: zagnitkow@i.ua,В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vladvam@gmail.comКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,С. Кривдік, д-р геол.-мін. наук, проф.
E-mail: kryvdik@ukr.net,В. Сидорчук, пров. інж.
E-mail: sydvit@gmail.comІнститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України
Пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна

ГЕНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РЕСУРСИ РІДКІСНОМЕТАЛЕВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Рідкісні метали є важливою складовою світової економіки. Україна володіє розвинутою мінерально-сировинною базою рідкісних металів, але жоден з її об'єктів наразі не розроблюється, що спричиняє збитки народному господарству країни. Майже всі відомі ендегенні родовища рідкісних металів Українського щита (Zr, Nb, Ta, TR, Sr, Li, Be, Rb тощо) генетично пов'язані з комплексами палеопротерозойських (1,7–2,1 млрд років) лужних порід, карбонатитів та пегматитів. Більшість цих родовищ відносять до відомих традиційних типів, проте вони мають низку специфічних і навіть унікальних мінералогічних, геохімічних та петрологічних особливостей. Окрім того, в цьому регіоні відкрито нові типи родовищ, які не відомі на інших докембрійських щитах (зокрема сильно збагачені Zr та TR нефелінові сієніти, петалітові пегматити, U-Sc-V метасоматити, гентгельвінові родовища Be та інші). Завданням цієї статті було показати особливості і перспективність рідкіснометального зруденіння Українського щита (УЩ), оцінити ресурси рідкісних металів за так званим коефіцієнтом унікальності, який вираховується як відношення прогнозних ресурсів елементів до їх кларку в земній корі. На території УЩ за ресурсами ніобію гігантським родовищем можна вважати Чернігівське (Новополтавське); крупними – Ожтєбрське та Яструбецьке; цирконію: гігантським – Яструбецьке, середніми – Чернігівське, Ожтєбрське, Азовське; рідкісних земель: крупними – Чернігівське та Яструбецьке, середніми – Ожтєбрське і Азовське; танталу: крупними – Чернігівське та Ожтєбрське; стронцію: крупним – Чернігівське; літію: середнім – Полохівське родовище в петалітових пегматитах; скандію: крупним – Жовторіченське. Такий підхід буде сприяти об'єктивності оцінки рівня інвестиційної привабливості цих родовищ. Разом з тим, більшість із рудних об'єктів є комплексними, тому інвестиційну привабливість можуть мати навіть середні та дрібні за розмірами родовища, враховуючи добре розвинуту інфраструктуру та наявність гірничодобувних та переробних підприємств на території УЩ.

Ключові слова: рідкісні метали, родовища, ресурси, коефіцієнт унікальності.

Постановка проблеми. Рідкісні метали мають стратегічне значення для сучасних галузей світової економіки, враховуючи різке зростання попиту і використання у новітніх ІТ та інших технологіях, атомній та реактивній техніці, металургії, електроніці, радіотехніці, електротехніці тощо. Родовища рідкісних металів широко відомі і розробляються у всьому світі (Маунтин-Пасс, Грін-Кав-Спрінгс в США, Баян-Обо, Гвангдонг, Хунту, Лонгнан в Китаї, Стрейндж-Лейк в Канаді, Буена-Норте в Бразилії, Фонг-Тхо у В'єтнамі, Стінкемпскрааль в ПАР, Конголон, Мобаз, Келеман в Мозамбіку та ін.). Україна володіє достатньо розвинутою мінерально-сировинною базою (МСБ) рідкісних металів, але жодний об'єкт на сьогодні не підготовлений до промислового освоєння і не розробляється. Залучення об'єктів МСБ рідкісних металів України до промислового освоєння є одним з актуальних і нагальних питань геологорозвідвальної галузі нашої країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Питанням МСБ рідкісних металів України присвячена значна кількість наукових досліджень [3, 4, 6, 15, 16, 19 і багато інших]. В цих роботах розглянуто особливості геологічної будови, складу, мінералогії та геохімії відомих проявів і родовищ рідкісних металів України, показано їх важливе геолого-економічне значення для економіки нашої країни. Але треба мати на увазі, що хоча Український щит (УЩ) і є перспективною рідкіснометалевою провінцією світу, але в багатьох відношеннях – незвичною. Перш за все, це визначається тим, що всі ендегенні родовища і переважна більшість рудопроявів рідкісних металів генетично пов'язані з протерозойськими (1,7–2,1 млрд р.) інтрузивними комплексами. Останні представлені лужними та сублужними породами, карбонатитами, гранітоїдними пегматитами. В більшості випадків руди рідкісних металів залягають безпосередньо в магматичних породах (тобто мають магматичний генезис). Меншою мірою

вони пов'язані з метасоматитами, які супроводжують рудоносні магматичні породи.

Не дивлячись на те, що більшість відомих родовищ рідкісних металів УЩ належать до традиційних типів, які пов'язані з нефеліновими та лужними сієнітами, карбонатитами та лужними гранітами, вони мають багато специфічних особливостей. Це дозволяє говорити про їх неповторність (за своїм мінеральним складом та деякими геохімічними і петрологічними особливостями). Зокрема, останнім часом в межах УЩ відкрито деякі родовища рідкісних металів, які не мають світових аналогів (сильно збагачені Zr та TR сієніти; скандієносні лужні метасоматити тощо).

Формулювання цілей статті. Завданням цієї статті було показати особливості і перспективність рідкіснометального зруденіння УЩ, оцінити ресурси рідкісних металів за так званим коефіцієнтом унікальності, який вираховується як відношення прогнозних ресурсів елементів до їх кларку в земній корі.

Характеристика родовищ, пов'язаних з лужними комплексами.

Карбонатити Чернігівського комплексу (Приазов'я) відкриті понад 30 років тому і добре вивчені [5, 27]. Родовище рідкіснометалевих, але загалом небагатих руд, пов'язане з карбонатитами цього комплексу, належить до найбільшого в межах УЩ за ресурсами. Ці карбонатити розглядаються як комплексні руди на апатит та рідкісні метали. Під час їх розробки супутньо можуть також вилучатися молібденіт, ільменіт, флогопіт, карбонати.

За мінеральним складом виділяються декілька типів карбонатитів, серед яких переважають доломіт-кальцитові різновиди (від доломітовмісних кальцитових до майже повністю доломітових) з олівіном та флогопітом (бефорсити). Їм підпорядковані кальцитові карбонатити з біотитом, флогопітом, піроксеном, Na-Ca-амфіболом, олівіном (совіти, альвікіти). Карбонатити Чернігівського комплексу

містять, як правило, близько 10 % апатиту, а деякі різновиди, зокрема, бефорсити, в північній частині масиву нерідко супроводжуються такими багатими апатитом (інколи разом з магнетитом) породами, як фоскорити, де вміст апатиту сягає 20–80 %. Такі рідкісні метали як Nb, Ta, Zr розподілені досить нерівномірно. Карбонатити північної та центральної частин комплексу в більшості випадків є рудами Nb, Ta та TR. В той же час, аналогічні породи південної частини загалом збіднені Nb (нерідко до 10–50 ppm) при дещо вищому загальному вмісті фосфору. Середній вміст Nb в карбонатитах не перевищує 300–600 ppm [13, 27]. Наведені в літературі [3, 11] досить високі концентрації рідкісних елементів (0,1–0,3 % Nb; 0,5–1,0 % TR) в карбонатитах стосуються, очевидно, саме північної частини цього комплексу.

Карбонатити, як це і властиво цим породам, збагачені стронцієм (в середньому біля 1 %), хоча неоднорідність спостерігається в розподілі і цього елементу (його вміст значно вищий в північній частині комплексу, де інколи в бефорситах досягає 3–4 %) [13]. При цьому спостерігається позитивна кореляція між вмістом стронцію та рідкісних земель.

Характерним рідкісноземельним мінералом карбонатитів (особливо бефорситів) є практично безторієвий (0,23 %) монацит. Інші власне рідкісноземельні мінерали карбонатитів, крім монациту та згаданого вище Се-фергусоніту – це ортит, бурбанкіт, анкіліт. Проте ці мінерали мають підпорядковане значення. Звертає на себе увагу відсутність в цих карбонатах з порівняно високим вмістом рідкісних земель таких мінералів, як бастнезит, паризит, синхізит тощо. До того ж в карбонатитах відсутній флюорит, незважаючи на досить високий вміст фтору в апатиті (до 3,2 % F), слюдах (до 2,7 %) та амфіболах (до 1,4 %).

Значна частина рідкісних земель розсіюється в апатиті (0,7–1,5, інколи до 7 % TR_2O_3) та породоутворювальних карбонатах (до 0,7 % TR_2O_3 в кальциті). В останньому також зосереджується основна маса стронцію (до 5,8 % в кальциті та до 2,2 % в доломіті) [13]. Практичний інтерес, як і у всіх карбонатитах, представляють кори вивітрювання, в яких концентрується колумбіт та частково апатит. Потужність кори вивітрювання в окремих ділянках, приурочених до зон розломів, сягає 300 м [3]. Крім карбонатитів, рудними породами в ме-

жах Чернігівського комплексу можуть бути також лужні піроксеніти з ільменітом, а також феніти. В останніх вміст Nb_2O_5 становить 0,15–0,37 %, а цирконію – до 0,7–1,0 % [13]. Рудні мінерали представлені колумбітом, пірохлор-гатчетолітом та цирконом.

Карбонатити та карбонатитоподібні породи відомі також в інших лужних масивах УЩ (Октябрський, Малотерсянський, Проскурівський, Покрово-Київський) [13, 26, 27] (Рис. 1). Хоча це здебільшого малопотужні тіла, які не мають практичного значення, сама їх наявність та діагностика в них рідкісноземельних та ніобієвих мінералів може свідчити про перспективність території УЩ на виявлення родовищ рідкісних елементів та апатиту, подібних до Чернігівського.

До карбонатитів, на нашу думку, належать кальцитові дайки та жили з егірином та апатитом, які були виявлені вперше одним із авторів у Хлібодарівському кар'єрі [3]. Хлібодарівський кар'єр розташований на захід від Октябрського масиву. В кар'єрі переважають породи чарнокітової серії, які перетинаються гранітами, дайками камптонітів і кальцитовими жилами (дайками). Переважають плагіоклазові (ендербітові) різновиди чарнокітів. В чарнокітах зустрічаються ксеноліти двопіроксенових кристалосланців.

Про карбонатитову природу цих карбонатних утворень свідчать: високий вміст стронцію (1–3 %), підвищений – рідкісних земель, наявність таких характерних мінералів карбонатитів, як апатит, пірохлор, монацит, ізотопно-геохімічні дані. Однією із ознак наявності карбонатитів є процес інтенсивної фенітизації вмісних гранітоїдів та інших силікатних, особливо кварцвісних порід. Зокрема, Хлібодарівська карбонатитова дайка, яка розтинає чарнокіти та кристалічні сланці, в чарнокітах утворює фенітові ореоли, що інколи в 2–3 рази потужніші за самі карбонатні тіла, але зовсім не залишають ореолів у кристалосланцях. По чарнокітах розвиваються егірин-лужнопольовошпатові, рибекіт-егірин-лужнопольовошпатові та рибекіт-егіринові породи. Егірин, лужний амфібол (рибекіт) та альбіт нерівномірно розсіяні в жильному кальциті, де іноді зустрічаються і виділення апатиту та пірохлору. На південному продовженні дайки, за даними геологів Приазовської ГРЕ (В.В. Васильченко, 1998 р.), буровими роботами в св. 229 встановлені карбонатні тіла потужністю до 1,0 м з паразитом.

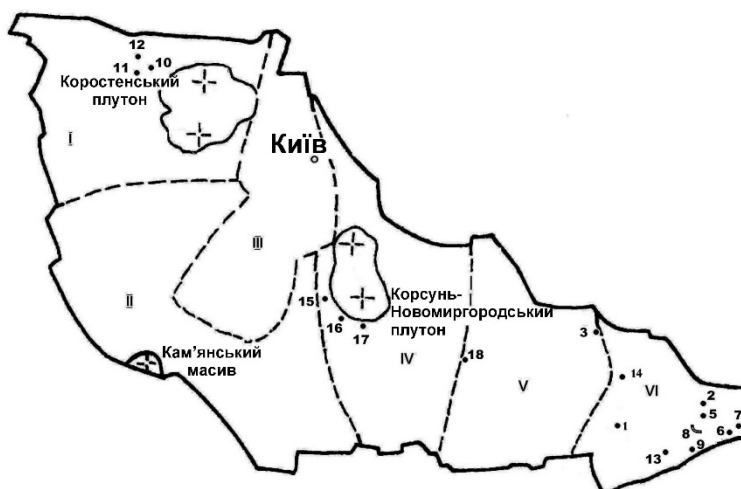


Рис. 1. Ендогенні родовища та прояви рідкісних металів на УЩ

Арабськими цифрами позначені масиви та прояви рідкісних металів: 1 – Чернігівський масив, 2 – Октябрський масив, 3 – Малотерсянський масив, 4 – Покрово-Київський масив, 5 – Хлібодарівський прояв, 6 – Петрово-Гнутівський прояв, 7 – Кальміуський масив, 8 – Південно-Кальчицький масив, 9 – Азовське родовище, 10 – Яструбецький прояв, 11 – Пержанське родовище, 12 – Суцано-Пержанське родовище, 13 – Родовище Крута Балка, 14 – Шевченківське родовище, 15 – Шполянсько-Ташлицький рудний район, 16 – Родовища Станкуватське та Надія, 17 – Полохівське, 18 – Жовторіченське. Римськими цифрами позначені мегаблоки щита: I – Волинський, II – Росинсько-Тікицький, III – Дністровсько-Бузький, IV – Інгuleцький, V – Середньопридніпровський, VI – Приазовський

Як особливий багатий рідкісними землями тип карбонатитів деякі дослідники [14] розглядають Петрово-Гнутівську жилу (дайку), яка складається зі змінної кількості кальциту, флюориту та паризиту. В.І. Кузьменко [13] розглядав цю породу як гідротермальне утворення у зв'язку з нефеліновими сієнітами, яких, однак, на цій території до сьогоднішнього дня ще не виявлено. Ця паризит-кальцит-флюоритова жила залягає серед граносієнітів Кальміуського масиву Приазов'я. Її потужність становила 0,3–2,9 м. Під час другої світової війни цю жилу було практично повністю відпрацьовано і вивезено до Німеччини, а проведені пізніше пошуково-розвідувальні роботи в цьому районі не дали обнадійливих результатів, хоча було виявлено малопотужні

жили з флюоритом та рідкісноземельними фторкарбонатами. В деяких публікаціях [3] згадується про наявність тут жил потужністю до 4 м і протяжністю до 6–250 м, зрідка до 600 м і високим вмістом фторкарбонатів. За мінералогічними та геохімічними особливостями руди Петрово-Гнутової подібні до багатих лужними лантаноїдами карбонатитів Маунтин-Пас (США) та проблематичних щодо генезису порід відомого родовища Байян-Обо (Китай), які більшість дослідників відносять до карбонатитів. Проведені нами ізотопно-геохімічні дослідження свідчать про глибинне джерело кисню та вуглецю в кальциті з карбонатних порід Петрово-Гнутівської ділянки (Табл. 1).

Таблиця 1. Геолого-геохімічна характеристика лужних масивів Українського щита, з якими пов'язане рідкіснометальне зруденіння

Геологічна ситуація (структурно – морфологічний тип)	Склад карбонатів	Вік (млн р.), метод	Геохімічні характеристики						Рудна спеціалі- зація
			δ13C	δ18O	Sr (r/t)	87Sr /86Sr	Сума TR (r/t)	La/Yb (по типах)	
Чернігівський карбонатитовий масив									
Крутопадаючі дайкоподібні тіла та серії паралельних дайок потужністю 50–60, іноді до 100 м серед фенітів, нефелінових та лужних сієнітів, лужних піроксенітів	Кальцит 70–80 % (сьовіти, альвікіти); доломіт, кальцит 60-70 % (бефорсити); кальцит 25–50 % (кімберлітові карбонатити)	2090–2190 U-Pb	-(3,0–8,1)	5,9–13,5	2000	0,7006	2800	I – 46,5; II – 82,2; III – 128; IV – 140	P2O5, Zr, Nb
Петрово-Гнутівська флюорит-карбонатна дайка									
Дайка (0,3–2,85 м) серед граносієнітів	Кальцит, паризит	1920–2100 по Pb	-(5,5–8,1)	10,1–16,6					TR (паризитова)
Хлібодарівський кар'єр									
Малопотужні жили (5–50 см) серед чарнокітів	Кальцит	1825±35 K-Ar	-(2,4–8,5)	8,5–13,2	5520	0,70258±5,5		40	P2O5, Nb, TR, Sr
Октябрський масив									
Малопотужні жильні утворення (до 1 м) серед основних та ультраосновних порід, лужних та нефелінових сієнітів	Кальцит, іноді сидерит, доломіт	1615±30 K-Ar	-(5,1–8,6)	6,2–14,1	8355–10000	0,7024–0,7029	589–3345	8,4–66,2 (середнє 33,5)	P2O5, TR
Малотерсянський масив									
Жильні тіла потужністю від декількох см до 16 м	Кальцит, іноді сидерит, доломіт, анкерит	1740 K-Ar	-(5,6–10,6)	10,7–21,0	2780	0,70232±48	2300–20000		TR

Отже, незважаючи на проблеми щодо генезису, формаційної приналежності та пошуків продовження багатих паризитом дайок Петрово-Гнутової, Октябрського масиву та Хлібодарівського кар'єру, можна вважати, що територія УЩ, зокрема його Приазовський блок, є перспективною на виявлення багатих лантаноїдами руд карбонатитового типу.

Октябрське (Мазурівське) родовище рідкісних металів (Nb, Ta, Zr, TR, Y) пов'язане переважно з маріуполітами та альбітизованими нефеліновими пегматитами (власне пегматоїдними маріуполітами). Маріуполіти в районі балки Мазурової (північно-східна частина масиву) залягають серед основних порід (габро, піроксеніти) як пологі (від горизонтальних до 30–35°) плитоподібні тіла (їх виявлено чотири). Потужність їх змінюється від 1 до 79 м [3]. Породоутворювальні мінерали маріуполітів – нефелін, альбіт, егірін, інколи мікроклін. Головні акцесорні мінерали рідкісних металів – циркон, пірохлор, бритоліт. Вміст їх, особливо циркону, може змінюватися в досить суттєвому інтервалі. Інколи циркон стає породоутворювальним мінералом, досягаючи 2–5 %. Проте стосовно Nb та TR маріуполіти не є багатими рудами. Разом з тим є два важливих фактори, які можуть зробити рентабельним експлуатацію цього родовища. По-перше, маріуполіти є комплексними рідкісно-

металево-алюмінієвими рудами, для яких розроблені технологічні схеми [8]. Було встановлено, що при виробництві 1 млн т глинозему супутньо вилучається до 1000 т Nb2O5 [22]. Другим фактором є те, що через досить низький вміст радіоактивних елементів пірохлоровий концентрат без технічної переробки його на Nb2O5 можна безпосередньо використовувати як легуючу добавку при виробництві сталі.

Азовське родовище локалізоване в межах розшарованого штоку сієнітів площею близько 3,8 км², розташованого в периферичній частині Південно-Кальчицького масиву сієнітів і граносієнітів (схід Приазов'я) [16, 23, 28]. Сієніти штоку розрізняються складом лужних польових шпатів, асоціацією фемічних мінералів, наявністю кварцу. Виділяють три відміни сієнітів: а) лужноземельні (двопольовошпатові); б) лужні меланократові; в) лужні лейкократові (пертозити).

Циркон і бритоліт – головні рудоутворювальні мінерали, але практичне значення мають також ортит і рідкісноземельні карбонати. Зруденіння представлено вкрапленням кристалів і їх зростків. Незважаючи на те, що існують наявні ознаки сингенетичного росту циркону і бритоліту, Zr- і TR-зруденіння переважно розділені у просторі. За морфологічними ознаками виділяють дві високотемпературні генерації циркону (~1200 і 850 °C,

за включеннями розплаву) [21]. Бритоліт пізнішої генерації має підвищений вміст Y та важких лантаноїдів. Мінералогічна специфіка лужних сієнітів – високий вміст флюориту.

Шаруватий характер розподілу циркону та бритоліту, іноді з утворенням шліроподібних (майже мономінеральних) скупчень (рудних горизонтів), імовірно є результатом кумуляції цих мінералів в процесі кристалізаційної диференціації сієнітового розплаву. Розвідувальними роботами зафіксовано два чітких горизонти цирконій-рідкісноземельних руд.

Яструбецьке родовище подібне до Азовського. Правда, тут відомі тільки багаті цирконієві руди з порівняно низьким вмістом рідкісних земель. Проте в сієнітах цього масиву виявлено такі ж мінерали рідкісних земель, як і на Азовському родовищі (бритоліт, ортит, бастнезит) [12]. Це дозволяє допускати можливу наявність в Яструбецькому масиві також багатих рідкісними землями руд. Крім того, виявлено ніобієвий мінерал – фергусоніт [12].

Багаті цирконієві руди виявлені бурінням на глибинах від 500 до 1000 м, де виділяється кілька збагачених цирконом горизонтів товщиною до кількох метрів. Згідно з запропонованою раніше моделлю [12], рудоносні сієніти, серед яких сформувалися рудні поклади типу Азовського та Яструбецького родовищ, є похідними базитових магм, спорідненими з материнськими розплавами анортозит-рапаківігранітних плутонів. Власне ці сієніти представляють сієнітовий тренд диференціації таких базитових магм при низькій фугитивності кисню за фенеровською або близькою до нею схемою кристалізаційного фракціонування. З таких позицій Південно-Кальчицький масив, серед сієнітів якого залягає Азовське родовище, розглядається як істотно сієнітовий значно еродований аналог анортозит-рапаківігранітного плутону. Відзначимо, що вік рудоносних сієнітів Яструбецького та Азовського родовищ практично ідентичний віку гранітів-рапаків та основних порід Коростенського та Корсунь-Новомиргородського плутонів, що не суперечить гіпотезі про генетичну спорідненість цих порід.

Виходячи з цих даних, можна вважати, що територія УЩ в цілому є перспективною на виявлення нового типу багатих на Zr, TR та Y руд, подібних до таких в Азовському та Яструбецькому родовищах. Найбільш перспективними є площі Південно-Кальчицького масиву, Коростенського та Корсунь-Новомиргородського плутонів та їх ореолів (як це має місце з Яструбецьким сієнітовим масивом). Наявність таких сієнітів з чіткою спеціалізацією на Zr, TR та Y є однією з специфічних особливостей металогенії докембрію УЩ.

Родовища, пов'язані з гранітами та метасоматитами.

Пержанське родовище берилію є одним з найвідоміших серед рідкіснометалевих об'єктів в межах УЩ. Цьому родовищу присвячено багато публікацій, окремі відомості з яких узагальнені в монографічних роботах [16, 17]. Найбільш популярною щодо генезису цього родовища є точка зору про зв'язок берилієвої мінералізації (переважно гентгельвін, в меншій мірі фенакіт) з різноманітними метасоматитами. Серед останніх найпоширенішим є істотно лужнопольовошпатові породи, які називаються кварц-польовошпатовими, кварц-біотит-польовошпатовими або лужними метасоматитами [16] та пертозитами [17]. Ці породи залягають серед так званих пержанських гранітів, які часто іменують апогранітами або гідротермально-метасоматичними утвореннями. За даними [3] берилієносні лужні метасоматити утворюють серію рудних зон з багатим гентгельвіновим зруденінням довжиною до 5 км при ширині 35–100 м. Кожна зона складається із серії кулісopodobно розташованих рудних тіл потужністю від перших до 20–

30 м. Руди відзначаються високою якістю (вміст BeO – 0,55 %) і порівняно простим збагаченням. При цьому фенакітове зруденіння (0,2 % BeO) просторово розрізнене з гентгельвіновим і локалізується в західному ендеоктакті пержанських гранітів у граніт-порфірах і дрібнозернистих гранітах. Фенакітове зруденіння має підпорядковане значення. В іншій роботі [17] наводиться значно менший вміст берилію (230–240 ppm) в цих породах.

В асоціації з гентгельвіном в пертозитах перебувають такі акцесорні мінерали, як мартит, циртолліт, галеніт, сфалерит, зрідка каситерит з мікровключеннями колумбіту тощо. Можна припускати також наявність акцесорних ніобатів в пертозитах.

Щодо генезису, то ми разом з іншими авторами вважаємо, що Пержанське берилієве (гентгельвінове) родовище просторово та, ймовірно, генетично, пов'язане з лужними та лужнопольовошпатовими гранітами (вмісні породи) та породами сієніт-граносієнітового складу (відомими під назвами пертозити або польовошпатові метасоматити).

Суцано-Пержанське родовище ітро-флюоритових руд досліджено від західної межі Яструбецького масиву на відстані 3 км у південно-західному напрямку [7]. Вмісні породи – пержанські граніти та біотит-польовошпатові метасоматити. За даними згаданих авторів рудні ітро-флюоритові тіла мають пласто- та лінзоподібну форму, потужність від сантиметрів до 25 м і протяжність до 840 м. Вміст флюориту в рудах сягає 54 %, середній – 28 %. Флюорит утворює гнізда та прожилки у кварц-польовошпатовій масі. Ітрії та інші рідкісні землі переважно ітрієвої групи концентруються у флюориті (до 0,55 %) та у цирконі (до 3,23 %). Вважається, що рідкісноземельно-флюоритова мінералізація пов'язана з процесами грейзенізації пержанських гранітів [7].

Родовище Крута Балка. За масштабами зруденіння це родовище належить до категорії середнього рівня. Пегматити локалізовані в архейських метаморфічних породах Сорокінської зони (Приазов'я) [20]. Кварц-альбітові зі сподуменом тіла розташовані на верхніх горизонтах, глибше – майже безрудні мікроклінові. За характером мінеральних асоціацій, морфології та зональності виділяють два типи пегматитів. Перший – тіла з добре проявленою зоною блокового мікрокліну та кварцу (50 % об'єму тіла) і рудною кварц-альбіт-сподуменовою зоною (30 % об'єму тіла). Другий тип – це великі лінзоподібні та плитоподібні тіла з роздувами та апофізами. Більша частина тіла припадає на кварц-альбітову (до 25 %) та кварц-альбіт-сподуменову зону (до 60 %). Переважна більшість промислових тіл належить до другого типу. Головним рудним мінералом є сподумен, але промислове значення мають також берил, тантал-ніобати, літєві фосфати, кукейт, холмквітит. Співвідношення Ta/Nb сильно коливається (в танталіті >1.0). Вважається, що пегматити родовища належать до альбітового і альбіт-сподуменового типу [21]. Проте, виділення альбітового типу викликає сумніви, оскільки кількість мікрокліну тут сягає 30 %. Ймовірніше, це мікроклін-альбіт-сподуменовий тип.

Шевченківське родовище. Вмісні породи – гнейси і сланці амфіболітової фації метаморфізму. За співвідношенням польових шпатів і літєвих силікатів розрізняють п'ять типів жил. Найбагатші на літій альбіт-мікроклін-сподуменові тіла містять сподумен і петаліт в різних пропорціях. Максимальний вміст кожного мінералу може сягати 80 %. В петалітових ділянках жил виникають "роздуви" потужністю до 100 м, тоді як потужність самої жили (без петаліту) найчастіше не перевищує 20–30 м. В альбітових, мікроклін-альбітових і мікроклінових пегматитах вміст сподумену змінюється в

широких межах, досягаючи в його скупченнях 50–60 %. При цьому скупчення агрегатів сподумену спостерігається в різних частинах тіла. Немає закономірності в розподілі інших мінералів (кварцу, лужних польових шпатів). Відсутність зональності пегматитів – характерна риса промислових тіл цього родовища. В багатих тілах не виявлено мінерали, характерні для рідкіснометалевих пегматитів – берил, лепідоліт, поліхромний турмалін, полуніт. Проте присутні в незначних кількостях хризоберил, ганіт, нігерит, силіманіт, а в зальбандах – залізистий гексагональний кордієрит (секанаїт). Вміст мусковіту сягає 10–15 %, але концентрація літію незначна ($<0,2$ % Li_2O). Серед тантало-ніобатів переважає колумбіт та ільменорутит, але загальний вміст їх низький. Сподумен утворює характерні псевдографічні зростання з кварцом і такі агрегати – головний промисловий тип руди. Петаліт є підпорядкованим мінералом (в порівнянні зі сподуменом), але іноді утворює значні за розміром скупчення.

Пегматити Шполян-Ташлицького району. В межиріччі Шполи і Ташлика знайдено два пегматитових поля з промисловими жилами літієвої спеціалізації [7]. Родовища Надія і Станкувате розташовані серед амфіболітів в південній частині рудного району, Полохівське – в східній частині серед високоглиноземистих гнейсів з кордієритом та гранатом. Головними рудними мінералами південних родовищ є сподумен і петаліт. Їх співвідношення значно коливається, але переважає сподумен. (сподумену до 20–25 %, петаліту до 14 %).

В родовищі Станкувате середній вміст Li_2O сягає 2,2 %, в Надії – 1,06 %. Середній вміст Ta_2O_5 – 0,006 % [9]. Полохівське родовище суттєво петалітове (до 25 % петаліту, сподумену менше 1 %), але за рахунок високої концентрації низьколітієвого петаліту середній вміст Li_2O в породі становить біля 1,2 %. Петаліт утворює потужні "роздуви" розміром 90–130 м. Багата рудна мінералізація прослідковується більше як на 500 м на глибину і за простяганням. Рідкісні луѓи концентруються в ортоклазі (Rb_2O до 0,9 %) і в слюдах (до 0,27 % Cs_2O). Вміст оксиду цезію в біотиті екзоконтактів сягає 4,9 % [10].

Подібно до пегматитів Шевченківської зони, пегматити Кіровоградського блоку мають "аномальний" мінеральний склад. Кількість кварцу в пегматитах не перевищує 15 %. Це значно менше, ніж для відомих пегматитів сподумен-мікроклін-альбітового типу (>25 %). Мусковіт спостерігається зрідка, але присутньо багато силіманіту. В них відсутній берил, турмалін, лепідоліт, дуже мало Li -фосфатів. Характерні (як акцесорні) багаті на алюміній мінерали (кордієрит-секанаїт, Al-Fe -шпінель, силіманіт).

Уявлення про генезис цих пегматитів досить неоднозначні і суперечливі. Зокрема припускається, що дрібнозернистий петаліт (головна руда Полохівського родовища) утворюється в результаті динамо-метаморфічної переробки ранніх суттєво сподуменових пегматитів [1]. Наявність ортоклазу та незначна кількість вододіафоретичних мінералів [1, 2, 9] дозволяє також зробити висновок про те, що магматичний розплав, з якого формувалися ці рідкіснометалеві пегматоїди, був бідний леткими компонентами. Цим, очевидно, обумовлені специфічні мінералогічні особливості родовищ Шполян-Ташлицького району, відмінних від типових літієвих пегматитів.

Жовторіченське родовище скандію. Це родовище знаходиться в північній частині Криворізького басейну.

Воно пов'язане з карбонатно-натрієвими метасоматитами, що розвиваються в діопсидових кварцитах, актинолітових сланцях і, можливо, частково в доломітах криворізької серії. Протяжність рудоносної зони біля 100 м, а її потужність, очевидно, не перевищує перші десятки метрів [24, 25].

Рудоносні метасоматити складаються з альбіту 6–15 %, егірину 9–21 %, амфіболів (рибекіт, арфедсоніт, тремоліт, актиноліт) – 11–21 %, карбонатів – 21–46 %, кварцу – 6–26 %, тальку – 3–10 % та апатиту – 3–20 %. Руди характеризуються підвищеним вмістом малакону (до 1–2 %), який утворює окремі скупчення. Це родовище належить до комплексних, за розробленою технологічною схемою з його руд можуть вилучатися, крім Sc, також V, U, TR, Y, Zr, Hf, P [24]. Вміст Sc та супутніх компонентів в рудах становить (в ppm): Sc – 50–200; U – 50–60; TR_2O_3 – 400–1000, Y – 20–500; V_2O_5 – 1700–2700; Hf – 140–150 та P_2O_5 – 2,6–5,8 % [25]. Головні корисні компоненти Sc та V ізоморфно входять в породотворювальні мінерали: в егірині 0,2–0,3 % Sc_2O_3 і 1,0–7,6 % V_2O_5 ; в лужних амфіболах, відповідно 0,1–0,2 % і 0,4–2,4 % і в апатиті до 0,2 % Sc_2O_3 (частіше 0,02–0,04 %) [24]. Власних мінералів скандію поки не виявлено.

Отже, Жовторіченське родовище скандію суттєво відрізняється від всіх розглянутих вище родовищ рідкісних металів УЩ. Останні майже завжди проявляють чіткий генетичний зв'язок з магматичними породами (карбонатити, нефелінові та лужні сієніти, пегматити), тоді як для Жовторіченського родовища цей зв'язок залишається проблематичним. Це генетичне питання є актуальним і для альбітових родовищ урану, які, очевидно, є спорідненими з Жовторіченським родовищем. В цій короткій статті неможливо дати вичерпний огляд існуючих гіпотез щодо генезису цих родовищ, але нам здається досить ймовірною концепція про глибинне (мантієне) джерело як уранових, так і розглянутого скандієвого родовища центральної частини УЩ [24]. Принагідно зауважимо, що уранові родовища Кіровоградського блоку супроводжуються полем протерозойських дайок глибинних порід (сублужні та лужні габроїди, толеїти, сієніти, кімберліт-лампроїти). Очевидно, це свідчить про активізацію цього району в протерозой, надходження глибинного матеріалу (магми, флюїди) в земну кору, яка ставала проникливою внаслідок інтенсивної розривної тектоніки.

Ресурси рідкісних металів родовищ УЩ. Нами оцінено ресурси рідкісних металів УЩ за так званим коефіцієнтом унікальності, який вираховується як відношення прогнозних ресурсів елементів до їх кларку в земній корі. За даними С.В. Осокіна та ін. [18], гігантськими вважаються такі родовища, в яких коефіцієнт унікальності дорівнює або більший за 1011. До крупних відносяться родовища з коефіцієнтом унікальності 1010, середніх – 109, дрібних – 108 (Табл. 2). На УЩ за запасами ніобію гігантським родовищем можна вважати Чернігівське (Новополтавське), крупними – Октябрське та Яструбецьке; цирконію: гігантським – Яструбецьке, середніми – Чернігівське, Октябрське, Азовське; рідкісних земель: крупними – Чернігівське та Яструбецьке, середніми – Октябрське і Азовське; танталу: крупними – Чернігівське та Октябрське; стронцію: крупним – Чернігівське; молібдену: крупними – Вербинське та Східно-Сергіївське, середнім – Балка Мазурова; літію: середнім – Полохівське родовище в петалітових пегматитах. Більшість із згаданих родовищ є комплексними, що підвищує їх цінність.

Таблиця 2. Коефіцієнти унікальності родовищ рідкісних металів Українського щита

Елементи (кларк)	Родовище, рудопрояв	Середній вміст по родовищу	Ресурси, тис. т	К унікальності
Лантаноїди (184)	Чернігівське (Новополтавське)	0,2	3217	$1,75 \times 10^{10}$
		0,3	4824	$2,62 \times 10^{10}$
		0,4	6433	$3,5 \times 10^{10}$
	Октябрське	0,065	237	$1,3 \times 10^9$
	Яструбецьке	0,14	2000	$1,1 \times 10^{10}$
	Азовське	1,3	388,33	2×10^9
	Петрово-Гнутаївське	5,0–6,0	2,25–2,7	$1,4 \times 10^7$
Ітрій (20)	Азовське	0,1	29,87	$1,5 \times 10^9$
Ніобій (20)	Чернігівське (Новополтавське)	0,072	1150	$0,57 \times 10^{11}$
		0,141	2270	$1,135 \times 10^{11}$
		з корою вивітрювання	1500-2500	1×10^{11}
	Октябрське	0,14	198	$9,9 \times 10^9$
	Яструбецьке	0,021	307	$1,5 \times 10^{10}$
Тантал (2,5)	Чернігівське (Новополтавське)	0,0035	68,7	$2,7 \times 10^{10}$
		0,0016	31,4	$1,25 \times 10^{10}$
		з корою вивітрювання	50–100	3×10^{10}
	Октябрське	0,005–0,01	24–44	$1,4 \times 10^{10}$
Цирконій (170)	Чернігівське	0,014	216	$1,3 \times 10^9$
	Октябрське	0,37	747	$4,4 \times 10^9$
	Азовське	2,5	746,79	$4,4 \times 10^9$
	Яструбецьке	1,46	20800	$1,22 \times 10^{11}$
Стронцій (340)	Чернігівське	1,1	17700	$5,2 \times 10^{10}$
Літій (32)	Полохівське	11700	182	$5,7 \times 10^9$

Висновки.

1. В УЩ розвинені рідкіснометалеві родовища як відомих, так і нових генетичних типів. Вони пов'язані з комплексами лужних порід, карбонатитів та гранітних пегматитів.

2. Більшість з цих родовищ має ряд специфічних мінералогічних, геохімічних та петрологічних особливостей, які відрізняють їх від родовищ традиційних типів. Такими є карбонатитове родовище Приазов'я з Сефергусонітом, Мазурівське (Октябрське) родовище маріуполітів з цирконом, пірохлором та брітолїтом, низка родовищ (Надія, Станкуватське, Полохівське) гранітоїдних пегматоїдів з петалітом, ортоклазом тощо. Крім того, в УЩ виявлені невідомі на інших докембрійських щитах родовища багатих руд Zr, TR та Y, пов'язані з безнефеліновими лужнополювошпатовими гіперсольвусними сієнітами (Яструбецьке, Азовське).

3. На відміну від більшості докембрійських щитів, де переважають родовища рідкісних металів фанерозойського віку, в межах УЩ всі відомі родовища такого типу мають протерозойський вік (1,7–2,1 млрд р.). Причина пасивності УЩ стосовно фанерозойського магматизму залишається нез'ясованою.

4. На території УЩ за ресурсами ніобію гігантським родовищем можна вважати Чернігівське (Новополтавське); крупними – Октябрське та Яструбецьке; цирконію: гігантським – Яструбецьке, середніми – Чернігівське, Октябрське, Азовське; рідкісних земель: крупними – Чернігівське та Яструбецьке, середніми – Октябрське і Азовське; танталу: крупними – Чернігівське та Октябрське; стронцію: крупним – Чернігівське; літію: середнім – Полохівське родовище в петалітових пегматитах.

5. Такий підхід буде сприяти об'єктивності оцінки рівня інвестиційної привабливості цих родовищ. Разом з тим, більшість із згаданих рудних об'єктів є комплексними, тому інвестиційну привабливість можуть мати навіть середні та дрібні за розмірами родовища, враховуючи добре розвинену інфраструктуру та наявність гірничодобувних та переробних підприємств на території УЩ.

6. Існують реальні перспективи відкриття нових проявів та родовищ рідкісних металів на території Українського щита, пов'язаних з карбонатитами, сублужними та лужними комплексами, що має стати завданням наступних досліджень.

Список використаних джерел

1. Бакаржєв А.Х. Мелкозернистые петалитовые руды – новый вид литийсодержащего минерального сырья Украины / А.Х. Бакаржєв, О.Ф. Маківчук, Б.Н. Иванов, Г.К. Еременко, В.П. Палкин // Минерал. ресурсы Украины. – 2000. – № 1. – С. 16–19.
2. Возняк Д.К. Особливості мінерального складу та умов утворення рідкіснометалевих пегматитів західної частини кировоградського блоку (Український щит) / Д.К. Возняк, В.М. Бугаєнко, Ю.А. Галабурда та ін. // Минерал. жур. – 2000. – 22, № 1. – С. 21–41.
3. Войновський А.С. Провідні рудоформаційні типи ендегенних родовищ кольорових, рідкісних та благородних металів докембрію України / А.С. Войновський, Д.С. Гурський, В.І. Калінін та ін. // Минерал. ресурси України. – 2000. – № 3. – С. 6–10.
4. Галецький Л.С. Субграфічеські сподуменові та петалит-сподуменові пегматити одного із докембрійських полів / Л.С. Галецький, А.І. Зарицький, Г.І. Князєв // Геол. жур. – 1987. – 47, № 1. – С. 136–141.
5. Глеваский Е.Б. Докембрійський карбонатитовий комплекс Приазов'я. / Е.Б. Глеваский, С.Г. Кривдик. – К.: Наук. думка, 1981. – 228 с.
6. Гурський Д.С. Металлогенічеська спеціалізація магматических комплексів і епохи рудообразования Українського щита / Д.С. Гурський, А.С. Войновський, В.А. Колосовська і др. // Минерал. журн. – 2000. – 22, № 2/3. – С. 5–11.
7. Гурський Д.С. До перспективи створення мінерально-сировинної бази плавикового шпату України / Д.С. Гурський, І.В. Шепель, В.С. Металіди, В.Л. Приходько // Минерал. ресурси України. – 1999. – № 2. – С. 3–7.
8. Донської А.Н. Нефеліновий комплекс Октябрського щелочного масива / А.Н. Донської – К.: Наук. думка, 1983. – 152 с.
9. Загнітко В.Н. Изотопная геохимия карбонатных и железисто-кремнистых пород Украинского щита / В.Н. Загнітко, И.П. Луговая. – К.: Наук. думка, 1989. – 315 с.
10. Иванов Б.Н. Екзоконтактові метасоматити літєвих гранітних пегматитів Шполянсько-Ташлицького рідкіснометалевий рудного району / Б.Н. Иванов, В.В. Лисенко, О.Ф. Маківчук та ін. // Минерал. ресурсы Украины. – 2000. – № 3. – С. 11–13.
11. Капустин Ю.Л. Распределение ниобия и тантала в фергусонитовых карбонатитах и их коре выветривания / Ю.Л. Капустин // Геохимия. – 1990. – № 4. – С. 558–569.
12. Кривдик С.Г. Петрологія щелочных пород Украинского щита / С.Г. Кривдик, В.И. Ткачук. – К.: Наук. думка, 1990. – 406 с.
13. Кузьменко В.И. Петрово-Гнутаївське месторождение паразита (УССР) / В.И. Кузьменко // Сов. геология. – 1946. – № 2. – С. 49–51.
14. Марченко Е.Я. О карбонатитовой природе Петрово-Гнутаївської флюорит-карбонатної дайки Приазов'я / Е.Я. Марченко, Г.Г. Коньков, В.И. Васенко // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1980. – № 1. – С. 24–27.
15. Михайлов В.А. Редкоземельные руды мира / В.А. Михайлов. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2010. – 223 с.
16. Металіди С.В. Суцано-Пержанська зона (геологія, мінералогія, рудоносність) / С.В. Металіди, С.В. Нечаєв. – К.: Наук. думка, 1983. – 136 с.
17. Мицкевич Б.Ф. Редкие элементы Украинского щита / Б.Ф. Мицкевич, Н.А. Беспалько, О.С. Егоров і др. – К.: Наук. думка, 1986. – 256 с.
18. Осокин С.В. Коэффициенты уникальности месторождений / С.В. Осокин // Геохимия. – 2000.

19. Павлишин В.І. Наукові засади розвитку мінерально-сировинної бази рідкісних металів України / В.І. Павлишин, Ф.Г. Баклан, В.М. Бугаєнко, Д.К. Возняк та ін. // Мінерал. журн. – 2000. – Т. 22, № 1. – С. 5–20.
20. Панов Б.С. Рудные формации Приазовской редкоземельно-редкометаллоносной области Украинского щита / Б.С. Панов, Ю.Б. Панов // Мінерал. журн. – 2000. – Т. 22, № 1. – С. 81–86.
21. Суярко В.Г. Рідкісноземельні елементи в гідротермальних мінералах та підземних водах Донбасу / В.Г. Суярко, В.М. Загнітко, І.К. Решетов // Вісник Харківського національного університету. – 2008. – № 804. – С. 70–75.
22. Солодов Н.А. Минерогения редкометаллических формаций / Н.А. Солодов. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
23. Стрекозов С.Н. Геологическое строение и характер оруденения Азовского месторождения / С.Н. Стрекозов, В.В. Васильченко, Д.С. Гурский и др. // Мінерал. ресурси України. – 1998. – № 3. – С. 6–9.
24. Тарханов А.В. Минералогия скандиевых руд Желтореченского месторождения / А.В. Тарханов, В.Д. Козырьков, Б.Ф. Мельниченко и др. // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1991. – № 10. – С. 56–70.
25. Тарханов А.В. Желтореченское ванадий-скандиевое месторождение / А.В. Тарханов, А.Р. Кудлаев, А.В. Петрин, В.Д. Козырьков // Геология рудных месторождений. – 1991. – № 6. – С. 50–56.
26. Шраменко И.Ф. Геохимия карбонатитов Украинского щита / И.Ф. Шраменко, В.А. Стадник, В.К. Осадчий. – К.: Наук. думка, 1992. – 212 с.
27. Kryvdik S.G. Isotopic geochemistry of carbonatites of Ukraine / S.G. Kryvdik, V.M. Zagnitko, M.O. Donskiy // Per. Mineral. – 2003. – 72, Special issue. – P. 153–159.
28. Melnikov V.S. The Azov Deposit – a New Type of Rare-metal Objects of Ukraine / V.S. Melnikov, A.A. Kulchitska, S.G. Kryvdik et al. // Miner. j. – 2000. – 22, № 5–6. – P. 39–49.

References

1. Bakarzhiev A.Kh., Makivchuk O.F., Ivanov B.N., Eremenko G.K., Palkin V.P. (2000). Fine-grained ore petalite – a new type of lithium-contained mineral raw materials of Ukraine. Mineral resources of Ukraine, 1, 16–19. [In Russian].
2. Vozniak D.K., Bugayenko V.M., Halaburda Yu.A., Melnykov V.S., Pavlyshyn V.I., Bondarenko S.M., Syomka V.O. (2000). Features of the mineral composition and conditions of formation of rare pegmatites in western part of the Kirovograd block (the Ukrainian shield). Mineral. J., 22, 21–41. [In Ukrainian].
3. Voinovskiy A.S., Gurskiy D.S., Kalinin V.I. et al. (2000). Leading ore formation types of non-ferrous, rare and precious metals endogenous deposits in the Ukrainian Precambrian. Mineral resources of Ukraine, 3, 6–10. [In Ukrainian].
4. Galetsky L.S., Zaritsky A.I., Kniyazev G.I. (1987). Subgraphic spodumene and petalite-spodumene pegmatites for one of Precambrian fields. Geolog. J., 1 (232), 136–141. [In Russian].
5. Glevasskiy E.B., Krivdik S.G. (1981). Precambrian carbonatite complex, Pre-Azov Region. Kyiv: Naukova dumka, 227 p. [In Russian].
6. Gurskiy D.S., Voinovskiy A.S., Kolosovskaya V.A., Zagnitko V.N., Kulish E.A., Shcherbak D.N. (2000). Metallogenic specialization of magmatic complexes and epochs of ore formation of the Ukrainian Shield. Mineral. J., 22, 2/3, 5–11. [In Russian].
7. Gurskiy D. S., Shepel I. V., Metalidi V. S., Prykhodko V. L. (1999). About perspective of formation of mineral-resource base of fluorite in Ukraine. Mineral Resources of Ukraine, 2, 3–7. [In Ukrainian].

8. Donskoy A.N. (1983). The nepheline complex of alkaline Oktyabr'skii massif. Kyiv: Naukova dumka, 152 p. [In Russian].
9. Zagnitko V.N., Lugovaya I.P. (1989). Isotope geochemistry of carbonate and banded iron formation rocks from the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova dumka, 315 p. [In Russian].
10. Ivanov B.N., Lysenko V.V., Makivchuk O.F. et al. (2000). Exocontact metasomatites of lithium granitic pegmatites of Shpoliano-Tashlyk'skii rare metal ore area. Mineral Resources of Ukraine, 4, 11–13. [In Ukrainian].
11. Kapustin Yu.L. (1990). Distribution of niobium and tantalum in fergusonite carbonatites and their weathering residues. Geokhimiya, 4, 558–569. [In Russian].
12. Krivdik S.G., Tkachuk V.I. (1990). Petrology of the alkaline rocks of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova dumka, 406 p. [In Russian].
13. Kuzmenko V.I. (1946). The Petrovo-Hnutovian parasite deposit (USSR). Sovetskaya geologiya, 2, 49–51. [In Russian].
14. Marchenko E.Ya., Konkov G.G., Vlasenko V.I. (1980). On carbonatite character of the Petrovo-Hnutovian dyke of the Near-Azovian area. Dokl. AN USSR, Ser. B, 1, 24–27. [In Russian].
15. Mikhailov V.A. (2010). Rare earth ores of the world. Kyiv: Kyiv University, 223 p. [In Russian].
16. Metalidi V.S., Nechaev S.V. (1983). The Sushchany-Perga zone (geology, mineralogy, ore-bearing potential). Kyiv: Naukova dumka, 136 p. [In Russian].
17. Mitskevich B.F., Bepalko N.A., Egorov O.S., et al. (1986). Rare elements of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova dumka, 256 p. [In Russian].
18. Osokin S.V. (2000). Coefficients of uniqueness of ore deposits. Geokhimiya. [In Russian].
19. Pavlishin V.I., Baklan F.G., Bugaenko V.M., Voznyak D.K., et al. (2000). Scientific substantiation of development of the mineral-raw base of rare-earth metals in Ukraine. Mineral. J., 22, 1, 5–20. [In Ukrainian].
20. Panov B.S., Panov Yu.B. (2000). The ore formations of the Near-Azovian rare earth – rare metal range of the Ukrainian Shield. Mineral. J., 1, 81–85. [In Russian].
21. Suyarko V.G., Zagnitko V.M., Reshetov I.K. (2008). Rare earth elements in hydrothermal minerals and subsoil waters of Donbass area. Kharkiv: Kharkiv University, 804, 70–75. [In Ukrainian].
22. Solodov N.A. (1985). Minerageny of rare-metal formations. Moscow: Nauka Press, 224 p. [In Russian].
23. Strekozov S.N., Vasilchenko V.V., Hursky D.S. et al. (1998). Geological structure and character of mineralization from the Azovian deposit. Mineral Resources of Ukraine, 3, 6–9. [In Russian].
24. Tarkhanov A.V., Kozyrkov V.D., Melnichenko B.F. et al. (1991). Mineralogy of scandium ores of Zheltaya Rechka deposit. Proc. VUZov. Geology and prospecting, 10, 56–70. [In Russian].
25. Tarkhanov A.V., Kudlayev A.R., Petrin A.V., Kozyrkov V.D. (1991). Zheltaya Rechka vanadium-scandium deposit. Geology of ore deposits, 6, 50–56. [In Russian].
26. Shramenko I.F., Stadnik V.A., Osadchy V.K. (1992). Geochemistry of carbonatites of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova dumka, 212 p. [In Russian].
27. Kryvdik S.G., Zagnitko V.M., Donskiy M.O. (2003). Isotopic geochemistry of carbonatites of Ukraine. Period. Mineral., 72, 153–159.
28. Melnikov V.S., Kulchitska A.A., Kryvdik S.G., Gurskiy D.S., Strekozov S.N. (2000). The Azov deposit – a new type of rare-metal objects of Ukraine. Miner. J., 22 (5–6), 39–49.

Надійшла до редколегії 24.12.16

V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.
E-mail: zagnitko@i.ua,

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: vladvam@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,

S. Kryvdik, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.
E-mail: kryvdik@ukr.net,

V. Sydorchuk, Lead Engineer
E-mail: sydvit@gmail.com,

M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

GENETIC FEATURES AND RESOURCES OF RARE METAL DEPOSITS OF THE UKRAINIAN SHIELD

Rare metals are an important part of the global economy. Ukraine has developed mineral raw material base of rare metals, but no one of its objects is currently being developed now, causing damage to the national economy of Ukraine. Almost all known endogenous rare metal deposits of the Ukrainian Shield (Zr, Nb, Ta, TR, Sr, Li, Be, Rb, etc.) are related genetically to Paleoproterozoic complexes (1.7–2.1 Ga) of alkaline rocks, carbonatites and pegmatites. The majority of these deposits belong to well-known traditional types, but they have a number of specific and even unique mineralogical, geochemical and petrological features. In addition, the new deposit types were found in this region, not reported in the other Precambrian shields (including nepheline-free syenites highly enriched in Zr and TR, petalite pegmatites, U-Sc-V metasomatites, genthelvite deposits of Be and others). The objective of this article was to show the features and potential of rare-metal mineralization in the Ukrainian shield, to evaluate the resources of rare metals using so-called uniqueness ratio, calculated as the ratio of inferred resources of chemical elements to their clarkes in earth's crust. There are the following types of deposits at the Ukrainian shield for niobium resources: giant one is Chernigivske (Novopolitavskoe), the large ones are Oktyabr'ske and Yastrubetske; for zirconium: giant one is Yastrubetske, medium ones are Chernigivske, Oktyabr'ske and Azovske; for rare earth elements: large ones are Chernigivske and Yastrubetske, medium ones are Oktyabr'ske and Azovske; for tantalum: large ones are Chernigivske and Oktyabr'ske; for strontium: large one is Chernigivske; for lithium: medium one is Polokhivske deposit in petalite pegmatites; for scandium: large one is Zhovtorichenske. This estimation will contribute to objective evaluation of investment attractiveness level of these deposits. Moreover, most of the ore objects are of a complex type, so even medium and small size deposits can show high level of investment attractiveness, considering a well-developed infrastructure and presence of mining and processing plants on the territory of the Ukrainian shield.

Keywords: rare metals, deposits, resources, uniqueness ratio.

В. Загнитко, д-р геол.-мин. наук, проф.

E-mail: zagnitkow@i.ua,

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vladvam@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

С. Кривдик, д-р геол.-мин. наук, проф.

E-mail: kryvdik@ukr.net,

В. Сидорчук, вед. инж.

E-mail: sydvit@gmail.com

Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины

Пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, 03680, Украина

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РЕСУРСЫ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Редкие металлы являются важной составляющей мировой экономики. Украина обладает развитой минерально-сырьевой базой редких металлов, но ни один из ее объектов пока не разрабатывается, что наносит ущерб народному хозяйству страны. Почти все известные эндогенные месторождения редкометалльных руд Украинского щита (Zr, Nb, Ta, TR, Sr, Li, Be, Rb и т.д.) генетически связаны с комплексами палеопротерозойских (1,7–2,1 млрд лет) щелочных пород, карбонатитов и пегматитов. Большинство этих месторождений относятся к известным традиционным типам, однако они имеют ряд специфических и даже уникальных минералогических, геохимических и петрологических особенностей. Кроме того, в этом регионе открыты новые типы месторождений, которые неизвестны на других докембрийских щитах (в частности сильно обогащенные Zr и TR безнефелиновые сиениты, петалитовые пегматиты, U-Sc-V метасоматиты, гентгельвиновые месторождения Be и другие). Задача этой статьи – показать особенности и перспективность редкометалльного оруденения Украинского щита (УЩ), оценить ресурсы редких металлов по так называемому коэффициенту уникальности, который вычисляется как отношение прогнозных ресурсов элементов к их кларку в земной коре. На территории УЩ по ресурсам ниобия гигантским месторождением можно считать Черниговское (Новополтавское), крупными – Октябрьское и Яструбецкое; циркония: гигантским – Яструбецкое, средними – Черниговское, Октябрьское, Азовское; редких земель: крупными – Черниговское и Яструбецкое, средними – Октябрьское и Азовское; тантала: крупными – Черниговское и Октябрьское; стронция: крупным – Черниговское; лития: средним – Полоховское месторождение в петалитовых пегматитах; скандия: крупным – Желтореченское. Такой подход будет способствовать объективности оценки уровня инвестиционной привлекательности этих месторождений. Вместе с тем, большинство рудных объектов являются комплексными, поэтому инвестиционную привлекательность могут иметь даже средние и мелкие по размерам месторождения, учитывая хорошо развитую инфраструктуру и наличие горнодобывающих и перерабатывающих предприятий на территории УЩ.

Ключевые слова: редкие металлы, месторождения, ресурсы, коэффициент уникальности.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3.01

Э. Кузьменко, д-р геол.-мин. наук, проф.
E-mail: kuzmenko-eduard@rambler.ru,

Л. Давыбида, канд. геол. наук
E-mail: davybida@yandex.ua

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Институт геологии и геофизики
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина,

В. Зинченко, исп. Директор
E-mail: ipi-aratta@ukr.net
Институт прикладных исследований "Аратта"
ул. В. Шимановского, 2/1, офис 114-а, г. Киев, 02660, Украина,

А. Никиташ, директор
E-mail: centrgidro@mail.ru
Центр гидрогеологических и геолого-экологических исследований
СГРГП "Пивничгеология", Проул. Геофизиков, 10, г. Киев, 02088, Украина,

Е. Яковлев, д-р техн. наук, глав. науч. сотрудник
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua
Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины
Чоколовский бульвар, 13, г. Киев, 03186, Украина

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ДИНАМИКА УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ПРАВОБЕРЕЖЬЕ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

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

Актуальность исследований обусловлена необходимостью изучения динамики обводнения грунтов в зависимости от факторов изменения во времени гидрогеологических и инженерно-геологических характеристик. Изучение последних, в свою очередь, требуется при гидрогеологических расчетах, связанных с оценкой режима подземных вод, а также при определении перспективы развития и активизации экзогенных геологических процессов. В данной публикации представлены результаты изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории урочища Межигорье, расположенного на правом берегу водохранилища Киевской гидроэлектростанции на Днепре. На основе анализа информации, полученной в результате исследования уровня режима грунтовых вод, выявлены источники питания водоносных горизонтов. Установлено, что формирование уровня режима осуществляется за счет инфильтрации осадков в водоносный горизонт непосредственно на объекте, инфильтрации осадков на прилегающих площадях с последующим транзитом на территорию объекта, транзита из водохранилища Киевской гидроаккумулирующей станции (ГАЭС). Доказано, что режим уровней и изменчивость количества осадков во внутригодовом цикле находится в тесной корреляции с отставанием уровней во времени на величину от 1-2 до 4 месяцев. Выявлены закономерности смещения уровня по отношению к осадкам, проявляющие себя в уменьшении смещения с приближением к зоне разгрузки подземных вод, прямой корреляции смещения с абсолютными отметками уровней в этом же направлении и, соответственно, обратной корреляции с мощностью зоны аэрации. Сформирован банк исходных данных для дальнейших исследований и комплексной оценки оползневой опасности в прибрежных частях территории.

Ключевые слова: уровни грунтовых вод, осадки, гидрогеологический режим, наблюдательные скважины, факторы обводнения, корреляционный анализ.

Актуальность вопроса. Анализ литературных данных. Актуальность вопроса связана с необходимостью изучения динамики обводнения горных пород в зависимости от режима осадков как фактора изменения во времени гидрогеологических характеристик, используемых при оценке запасов подземных вод, а также при решении ряда эколого-гидрогеологических задач. Кроме того, обводнение грунтов в значительной степени определяет возможность развития экзогенных геологических процессов (ЭГП): оползней, карста, селей, подтопления, эрозии и др.

Исследования в этом направлении приведены в ряде опубликованных работ, непосредственно связанных с вопросами гидрогеологии [1, 4-6, 8-18]. Среди этих работ следует выделить монографию [12], в которой изложены методика и результаты исследования сезонных закономерностей изменения уровней подземных вод для территории Украины в природных и слаборазрушенных условиях с использованием факторных вероятностно-статистических моделей.

В развитие идей, изложенных в [12], была выполнена диссертационная работа [4], где приведены результаты интегральной оценки многолетнего режима уровней грунтовых вод, а также созданы прогностические геоинформационные модели глубины залегания уров-

ней для территорий Днепровской и Житомирской административных областей Украины.

Вопросы исследования количественных связей режима уровней подземных вод и развития инженерно-геологических процессов в последнее время развивались в работах, связанных с прогнозированием ЭГП [10-11].

Характеристика объекта исследований. Постановка задачи. Исследования, приведенные в представленной работе, выполнены в связи с изучением гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории урочища Межигорье, расположенного на правом берегу водохранилища Киевской гидроэлектростанции на Днепре. В качестве исходных для исследований приняты архивные и фондовые геологические материалы, материалы по режимным наблюдениям уровней воды в скважинах и метеоданные по Киевской области.

Данные о наличии подземных вод в горных породах и гидрогеологических условиях территории исследований приводятся в многочисленной литературе (Н.Е. Борщевский, Е.Н. Беспалова, И.И. Молодых, А.П. Никиташ, В.В. Приходько, Н.Г. Пышная, Г.И. Рудько, Ю.Н. Швыдкий и многие другие). Непосредственно по территории урочища Межигорье известна только одна монография [2]. Для той же территории справедливы выводы статьи [6] о грядущей активиза-

ции оползневых процессов на Правобережье Киевского водохранилища в 2017-2018 гг.

Исследования уровня режима подземных вод на объекте велись с марта 2011 по декабрь 2013 года. Бурение наблюдательных (пьезометрических) скважин, инженерно-геологические, гидрологические, а также гидрогеологические исследования были призваны решить следующие задачи:

- уточнение литолого-стратиграфического строения верхней части разреза и глубины залегания водоносных горизонтов и водоупоров;
- выяснение возможности транзита подземных вод на территорию Межигорья как источника питания водоносных горизонтов и установление путей такого транзита;
- оценка смещения во времени (запаздывания) графиков уровней подземных вод относительно осадков и выяснение причин такого смещения;
- формирование банка исходных данных для комплексной оценки оползневой опасности в присклоновых частях территории.

Гидрогеологический разрез. Источники питания водоносных горизонтов. В соответствии с региональным геологическим строением Среднего Приднпровья и гидрогеологическими условиями территории исследований первыми водоносными горизонтами являются [7]:

- водоносный горизонт в водно-ледниковых, озерно-ледниковых, а также элювиальных и эолово-делювиальных отложениях четвертичного возраста, имеющий грунтовый (свободный) режим и активное питание атмосферными осадками (дожди, талые воды) и утечками техногенных вод (потери из сетей, искусственных водоемов и т. д.);
- водоносный горизонт в песках неогена, имеющий местами напорный режим.

Между ними находится водоупорный горизонт пестроцветных и красно-бурых неогеновых глин, которые при растрескивании могут быть обводнены. Горизонт глин может быть размыт, тогда первый и второй водоносные горизонты соединяются и имеют грунтовый (ненапорный) характер.

Нижний водоносный горизонт подстилается свитой суглинков и мергелей палеогена.

Из перечисленных выше публикаций и отчетов следует, что источники питания водоносных горизонтов могут быть такими (Рис. 1):

- осадки с последующей инфильтрацией непосредственно на территории исследований;
- осадки с последующей инфильтрацией и транзитом в зону территории исследований;
- транзит из водохранилища Киевской гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС);
- утечки из водоемов, дренажных систем и других водонесущих сооружений;
- полив и орошение территории.

Это – гипотетические источники питания. Следует выяснить, какие из них нужно принимать во внима-

ние с учетом фактических данных, приведенных в опубликованной литературе, фондовых и картографических материалах.

В монографии [2] одной из причин активизации оползневых деформаций на территории правительственных дач в Межигорье было названо заполнение в 1969 году верхнего водохранилища Киевской ГАЭС. Станция расположена вблизи Межигорья, в 2,5 км выше створа Киевской ГЭС. Искусственно созданный верховой водоем полезной емкостью 3,7 млн м³ построен на крутом берегу Днепра (на месте оврага) и подымается над уровнем водохранилища Киевской ГЭС на 70 м. Территория правительственных дач находится недалеко, примерно в одном километре северо-западнее ГАЭС. По отметкам дачи расположены на 10-20 м ниже отметки НПУ водохранилища Киевской ГАЭС. Поток подземных вод по бурой глине, несмотря на наличие противифльтрационной завесы, частично через территорию дач разгружается в водохранилище.

Результаты геофизических исследований 2013 года позволяют утверждать, что завеса на момент исследований своей функции в полной мере уже не выполняет, и вода из верхнего водохранилища ГАЭС действительно попадает на территорию урочища Межигорье.

В результате анализа карт местности разных периодов установлено, что с южной стороны к территории исследований подходит погребенный в результате планировки овраг (Рис. 1). По результатам бурения это предположение подтверждается наличием на месте оврага более мощных песчано-глинистых образований, которыми, в основном, овраг засыпался. Сама по себе засыпка при планировке оврага не исключает прохождения по его тальвегу подземных вод (исторически сложившееся направление потока). Кроме того, прилегающая с юга, юго-запада территория имеет общий уклон в сторону Киевского водохранилища. Таким образом, атмосферные осадки фильтруются в первый от поверхности водоносный горизонт и далее через насыпные породы по тальвегу оврага попадают на исследуемую территорию.

Следуя изданной гидрогеологической карте масштаба 1:50000 [3], области питания могут находиться северо-западнее и южнее – юго-западнее объекта. Питание с запада – северо-запада исключается ввиду наличия оврагов с абсолютными отметками порядка 120-125 м (при отметках на объекте 160-165 м).

Следует учесть при анализе, что карта четвертичных образований масштаба 1:50000 свидетельствует, что эти образования распространены повсеместно и могут слагать единый водоносный горизонт на отметках в районе объекта исследований и прилегающих территорий не ниже 145-150 м. Важной для анализа условий транзита является карта топосъемки масштаба 1:10000. Она однозначно свидетельствует, что вода на Межигорье "со стороны" может поступать только с юга – юго-востока.

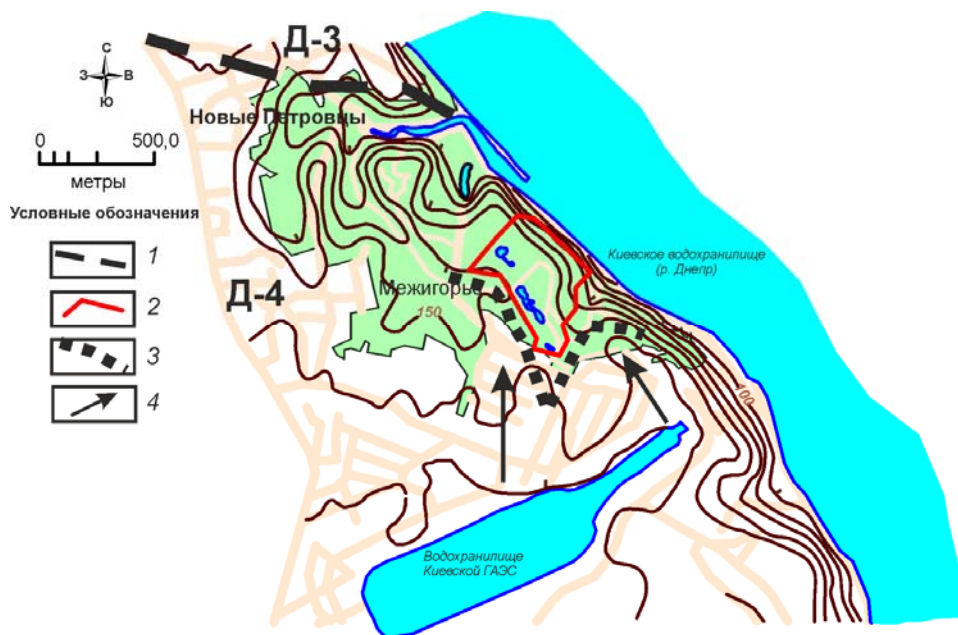


Рис. 1. Ситуационная схема урочища "Межигорье" и его окрестностей:

- 1 – граница между водообменными бассейнами второго порядка Д-3 (р. Ирпень) и Д-4 (р. Стугна Красна),
 2 – контур исследуемой территории, 3 – территория над погребенным оврагом,
 4 – направление движения подземных вод от областей питания к исследуемой территории

Вопрос оценки возможности утечки из водоемов был решен при замере уровня воды в них. При этом выбрано время года, когда испаряемость отсутствовала, осадков не было, а питание озер было прекращено. Падение уровней во всех без исключения водоемах свидетельствовало о наличии утечек, объем которых при знании площади озер не представляло труда подсчитать.

Инфильтрация непосредственно на территории урочища имела место, так как во время дождей и таяния снега при превышении количества осадков вода полностью впитывалась в грунт, и при этом нагружались дренажные системы. Аналогичной представляется инфильтрация и пополнение водоносного горизонта за счет воды орошения и полива.

Таким образом, следует считать доказанным, что все пять поименованных источников питания водоносных горизонтов в той или иной степени вносят свою лепту в процесс.

Обводненность наблюдательных скважин. При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях в Межигорье первоочередное внимание обращалось на участок, прилегающий к центральной смотровой площадке, так как здесь в 1985 г. был зафиксирован значительный по размерам оползень (Рис. 2). Далее наблюдались незначительные подвижки грунта и соответственно изменение местоположения бровки склона в связи с деляпсивным развитием оползня. Склон после активизации 1985 года не укреплялся, а было принято решение о вынесении смотровой площадки от бровки обрыва на 25-30 м для создания буферной зоны [2]. К 2009 г. эта зона вследствие продолжающегося движения оползневых масс уже составляла всего несколько метров, а в 2013 г. вновь сошел крупный оползень, и были частично обнажены сваи, на которых держалась смотровая. Поэтому уже в 2009 г. было пробурено 16 инженерно-геологических скважин глубиной от 6 до 37 метров, проведены лабораторные

испытания керна и рассчитана устойчивость склона, которая была оценена как допустимая, приближающаяся при увлажнении грунта к граничной. При бурении вода в четвертичных образованиях появилась в суглинках только в одной скважине (глубина 6 м), а в трещинах неогеновых глин – в двух скважинах (глубина 14,5-16,5 и 12-18 м). По завершении бурения скважины были ликвидированы.

В марте 2011 г. было выполнено целенаправленное бурение шести режимных гидрогеологических (пьезометрических) скважин ПС-1 – ПС-6 и четырех режимных инклинометрических скважин ИС-2 – ИС-5 (Рис. 2). Из этих 10-ти скважин 8 были обводнены (Табл. 1). Типичный разрез в районе размещения скважин представлен на рис. 3. Кровля водоносного горизонта песков неогена находится ниже – на глубине 26.0-26.5 м, и ни одной из скважин серий ПС или ИС не вскрыта.

Графики режимных наблюдений уровней по пьезометрическим скважинам ПС в 2011-2013 гг. изображены на рис. 4.

Анализ данных табл. 1 позволяет сформулировать следующие выводы:

– констатируется наличие воды в скважинах с достаточно высокими уровнями, что подтверждает факт образования в четвертичных отложениях постоянного водоносного горизонта. Это – горизонт песков и суглинков, залегающий в нижней части четвертичных образований на неогеновых глинах. Супесчано-суглинистые породы верхней части разреза являются безводными (скважины ПС-2, ИС-5 в табл. 1);

– растрескивание неогеновых бурых и пестроцветных глин приводит к спорадическому обводнению последних, в силу чего они определяют положение уровней подземных вод в скважинах, "перехватывают" воду четвертичных песков и возможно служат транзитной дренажной для последних.

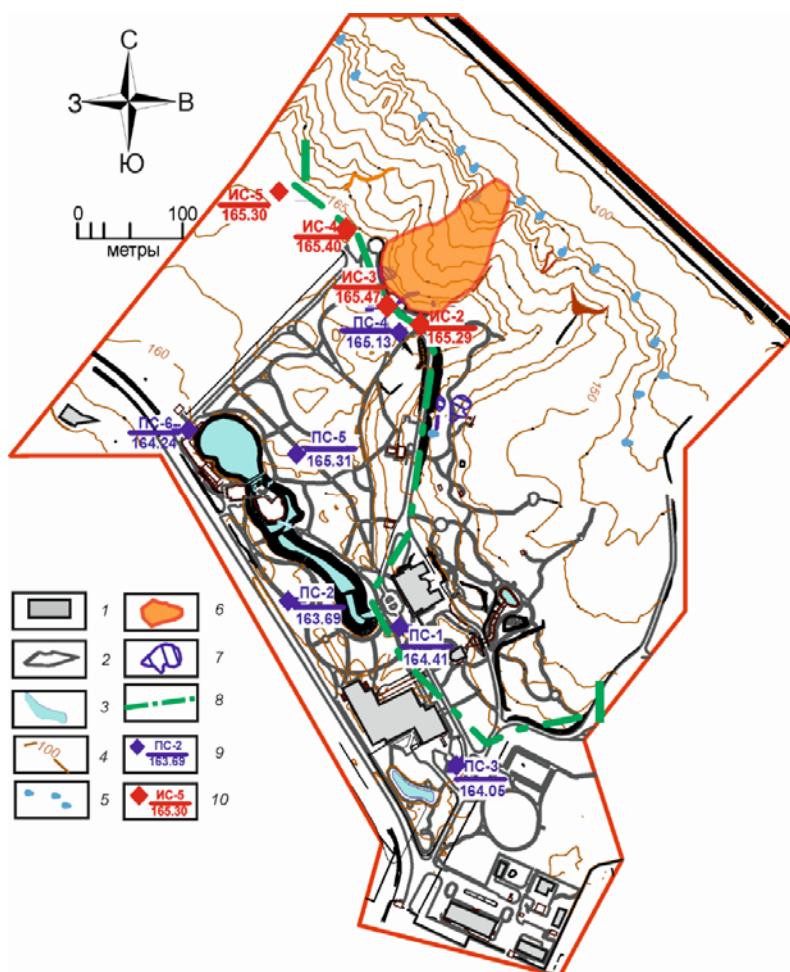


Рис. 2. Схема расположения скважин для наблюдения режима подземных вод:

- 1 – здания, 2 – дорожки, 3 – водоемы, 4 – изолинии, 5 – выход подземных вод на дневную поверхность (источники),
 6 – оползень, сошедший весной 2013 г., 7 – выход подземных вод на дневную поверхность (площадное дренирование),
 8 – линия обзора геологического разреза I-I, 9 – пьезометрическая скважина, ее номер и абсолютная отметка оголовка,
 10 – инклинометрическая скважина, ее номер и абсолютная отметка оголовка

Таблица 1. Каталог пьезометрических и инклинометрических скважин (стрелка означает, что подошва указанных пород не вскрыта; при отсутствии суглинков ниже подошвы песков вскрыты бурые глины)

Наименование скважины	Дата бурения	Абсолютная отметка оголовка	Глубина скважины, м	Глубина до подошвы песков, м	Глубина до подошвы суглинков, м	Уровень подземных вод		Средняя глубина подземных вод	
						до "июльских" дождей	после "июльских" дождей	до "июльских" дождей, h1	после "июльских" дождей, h2
ПС-1	29.03.11	164.41	12.0	7.6	12.0 →	156.1	156.7	8.3	7.7
	7.9								
ПС-2	29.03.11	163.69	6.0	6 →	не вскрыты	воды нет	воды нет	воды нет	воды нет
	-								
ПС-3	29.03.11	164.05	13.5	8.2	13.5 →	156.7	157.4	7.4	6.7
	7.0								
ПС-4	30.03.11	165.13	18.0	6.2	отсутствуют	157.9	158.5	7.2	6.6
	-								
ПС-5	30.03.11	165.31	12.0	5.5 (супесь)	7.0	159.4	159.7	5.9	5.6
	7.0								
ПС-6	31.03.11	164.24	8.7	Отсутствуют	8.4	158.3	159.2	5.9	5.0
	7.6								
ИС-2	21.03.11	165.29	20.9	5.2 (5.2-11.4 – супесь)	11.4	147.0	150.5	18.3	14.8
	-								
ИС-3	21.03.11	165.47	21.0	7.0	отсутствуют	158.0	159.5	7.5	6.0
	-								
ИС-4	21.03.11	165.40	23.8	5.0	отсутствуют	154.5	148.0	10.9	17.4
	-								
ИС-5	21.03.11	165.30	20.5	5.1	отсутствуют	воды нет	воды нет	воды нет	воды нет
	-								

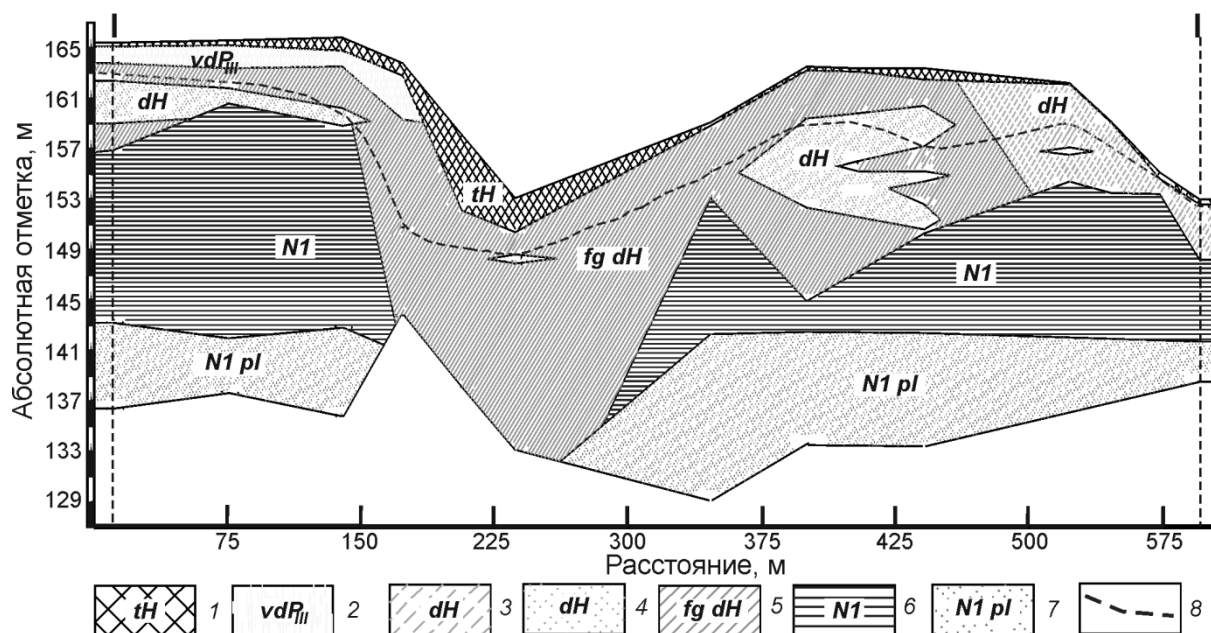


Рис. 3. Обзорный геологический разрез по линии I-I:

- 1 – насыпной грунт, 2 – супесь (суглинок) лесовидная, палево-желтая, желтая, макропористая,
- 3 – супесь делювиальная, коричнево-желтая, палево-желтая, желтая, с линзами и прослоями песка,
- 4 – песок делювиальный серо-коричневый, светло-коричневый, коричневый, рыхлый и средней плотности, малой и средней степени водонасыщения с прослоями и линзами супеси и суглинка, 5 – суглинок моренный, коричневый, желто-коричневый, твердый, полутвердый с прослоями глины и супеси, с включениями дресвы и гравия,
- 6 – глина "пестроцветная", желто-бурая, красно-желтая, твердая, полутвердая и тугопластичная, с прослоями супеси и суглинка, с включениями карбонатов, 7 – песок (супесь) светло-серый, желто-серый, плотный, малой степени водонасыщения,
- 8 – уровень грунтовых вод

Судя по графикам на рис. 4, в начальный период наблюдений 17.05.11 – 30.06.11 отмечается общее повышение уровней воды во всех пяти обводненных пьезометрических скважинах от 3 до 31 см. В трех обводненных инклинометрических скважинах повышение уровня составляло от 20 до 152 см. В скважинах, вскрывших водоносный горизонт в глинах, изменения уровней превысили по величине аналогичные измене-

ния в водоносном горизонте песков. Это особенно ярко отмечается для периода июльских дождей (Табл. 1) и косвенно свидетельствует в пользу того, что скважины в трещиноватых глинах образуют депрессионные воронки для горизонта песков, притом глинистый горизонт гидравлически может быть связан с источниками разгрузки подземных вод на склоне.

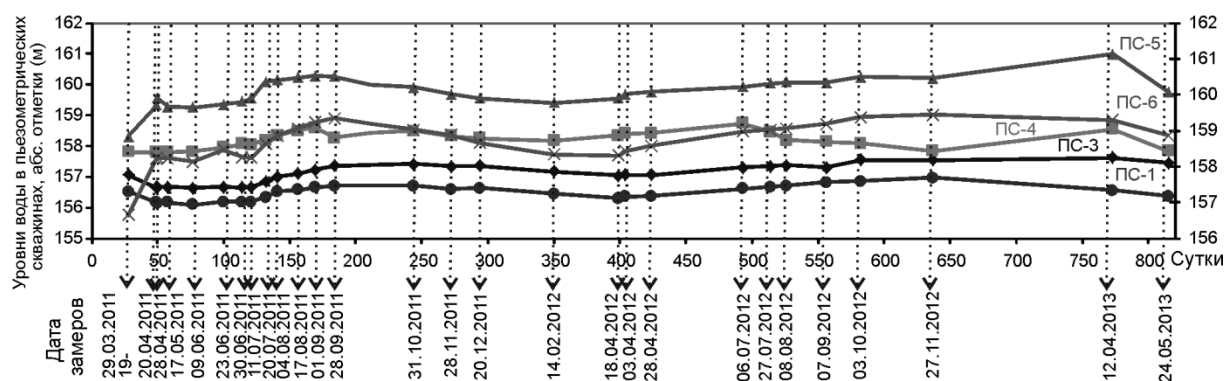


Рис. 4. Графики уровней грунтовых вод

За период с 30.06.11 по 23.09.11 по скважинам ПС отмечается дальнейшее общее повышение уровня воды – от 39 до 96 см, хотя на последнем этапе наблюдений в скважинах ПС-5 и ПС-6 началось осеннее понижение. Следует отметить тот факт, что в этих скважинах уровни фиксируются на более высоких абсолютных отметках. Сравнение уровней в них с уровнями и глубиной воды в озерах свидетельствует, что уровни воды в скважинах превышают отметки дна озер. Объяснений тут может быть два. Первое – утечка из водоемов и иных гидротехнических сооружений. Второе – геологические особенности участка, обусловленные

преобладанием в разрезе регионального водоупорного слоя глин в подошве грунтового водоносного горизонта (например, см. разрез скважины ПС-6 в табл. 1).

Наблюдения уровней 2011-2013 гг. подтверждают закономерную ритмичность их колебаний при наличии в целом тенденции подъема уровней, причинами чего, вероятно, следует полагать превышающее норму количество осадков в 2012 году, а также интенсивное орошение и полив территории.

О связи атмосферных осадков и уровней грунтовых вод. Пока по-прежнему остается невыясненным вопрос количественной оценки времени "добегания" осадков в

водоносный горизонт и объяснение различий в изменении уровней по различным скважинам по сравнению с осадками.

На рис. 5 представлены метеорологические данные по г. Киеву в динамике за тот же интервал наблюдений, что и графики уровней воды, с синхронизацией дат. Из просмотра графиков ясно, что по пьезометрическим скважинам имеем закономерность следующего характера: наличие осадков вызывает последующее растянутое во времени повышение уровней с некоторым запаздыванием.

Количественную оценку этой зависимости можно получить, просчитав функции взаимной корреляции (ФВК). Пример типичного графика ФВК уровней и осадков представлен на рис. 6, из которого видно, что максимальная степень положительной корреляции для посуточных наблюдений отмечается при смещении ряда суммы осадков относительно ряда изменчивости уровней вперед на 80-90 суток. Корреляция статистически значимая, поскольку более чем в три раза превышает стандартное отклонение. Понятна отрицательная корреляция (верхняя часть рисунка), которая подтверждает цикличность исследуемых рядов: при смещении на -80 – 90 суток ряды находятся в противофазе.

На рис. 7 продемонстрированы результаты процедуры расчета ФВК с учетом регуляризации временных интервалов по месяцам. Отставание уровней от осадков составляет по каждой из скважин ПС-1, ПС-2, ПС-3, ПС-4, ПС-5 два месяца, а по скважине ПС-6 – до трех месяцев, что подтверждается статистически значимыми коэффициентами корреляции для синхронизированных помесечных рядов.

Возникает вопрос: выявленная закономерность в целом носит универсальный характер или локально

выражена на объекте Межигорье? Литературные данные свидетельствуют, что в многолетнем режиме закономерность присутствует всегда, и смещение составляет 1-2 года [1]. Для внутригодовых циклов литературных данных не найдено, поэтому аналогичный кросс-корреляционный анализ проведен нами для четырех скважин государственной сети в Днепропетровской и для двух скважин в Житомирской области Украины [4, 14]. Выводы по этим исследованиям: 1) для всех без исключения скважин подъем уровней отстает по времени во внутригодовом цикле от осадков; 2) это отставание составляет от 1 до 4 месяцев; 3) разница в отставании в основном объясняется а) условиями инфильтрации; б) мощностью зоны аэрации; в) расстоянием до зон техногенной подпитки; г) расстоянием до водотоков; д) условиями транзита подземных вод.

Для дополнительного доказательства закономерности внутригодового смещения положения уровней грунтовых вод по отношению к осадкам выполнены аналогичные, представленным на рис. 6, 7, расчеты для близких к территории Межигорья и сходных по гидрогеологическому разрезу двух скважин государственной опорной сети: № 245010017 (г. Киев) и № 245500084 (г. Иванков Киевской области). При этом для расчетов взяты различные годы с различной интенсивностью осадков. Выводы аналогичные: смещение есть всегда и в данном случае величина его колеблется от 0-2 до 4-6 месяцев. Очевидно, что представленный в данном исследовании внутригодовой цикл накладывается как цикл более высокого порядка на межгодовой, который является по отношению к внутригодовому региональным.

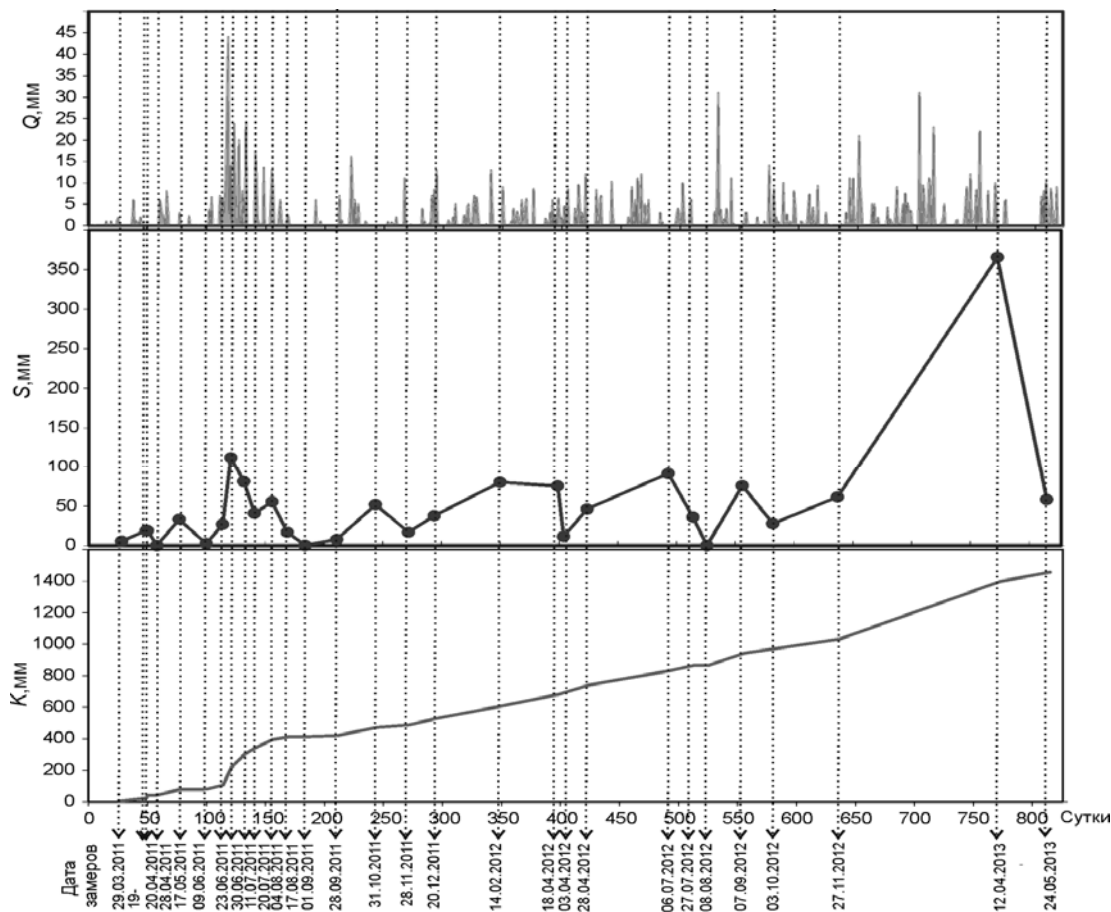


Рис. 5. Метеорологические данные по г. Киеву за период март 2011 г. – май 2013 г.:

(Q) – график осадков, мм; (S) – интервальная кривая осадков (суммарное количество осадков за период между замерами уровней в пьезометрических скважинах), мм; (K) – кумулятивная кривая осадков, мм

В заключении статьи проанализируем связь величины смещения во времени уровней и осадков от таких факторов, как расстояние от бровки склона, абсолютная отметка уровня воды по скважинам, величина зоны аэрации. Необходимые исходные данные сведены в табл. 2. В таблице требует пояснения только правая колонка последнего столбца – средневзвешенные значения смещения с учетом взаимной корреляции осадков и уровней. Эти значения получены по предлагаемой нами формуле:

$$t_{cm} = \frac{t_{cm1} \cdot k_{кор1} + t_{cm1} \cdot k_{кор1} + \dots + t_{cmn} \cdot k_{корn}}{k_{кор1} + k_{кор1} + \dots + k_{корn}}$$

где t_{cm} – время смещения; $k_{кор}$ – коэффициент корреляции; индекс 1, 2, ...n – порядковый номер корреляционного интервала на графике функции взаимной корреляции (Рис. 7).

Полученные зависимости для приведенных в табл. 2 параметров представлены на рис. 8.

Эти зависимости для всех фрагментов рисунка вполне закономерны:

- уровни воды в скважинах понижаются по направлению к зоне разгрузки – Киевскому водохранилищу, а кривая изменения уровней подчиняется параболическому закону – рис. 8, а;
- величина смещения уровней и осадков уменьшается с приближением к зоне разгрузки в связи с ростом скорости фильтрации – рис. 8, б;
- по тем же причинам с учетом кривой на рис. 8, а эта величина уменьшается при снижении абсолютных отметок уровней – рис. 8, в;
- величина смещения уменьшается с увеличением мощности зоны аэрации в силу связи параметров рис. 8, в – рис. 8, г.

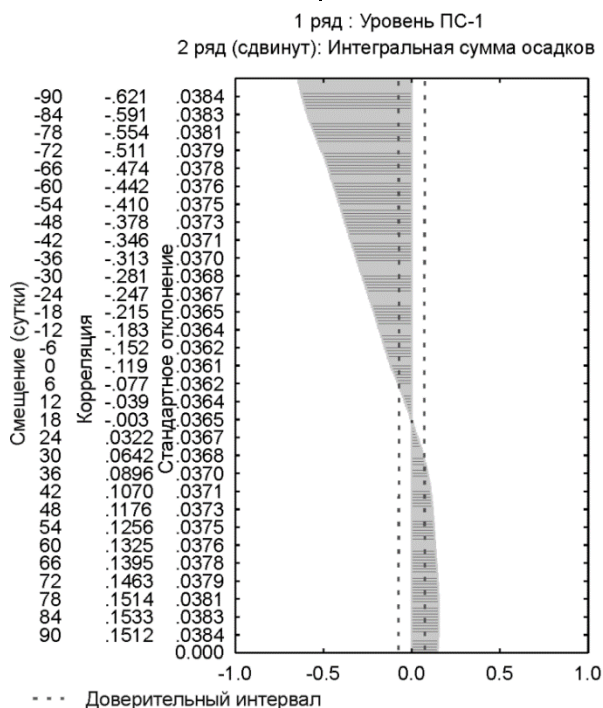


Рис. 6. Пример графика взаимной корреляции уровня воды для пьезометрической скважины ПС-1 и интегральной кривой осадков

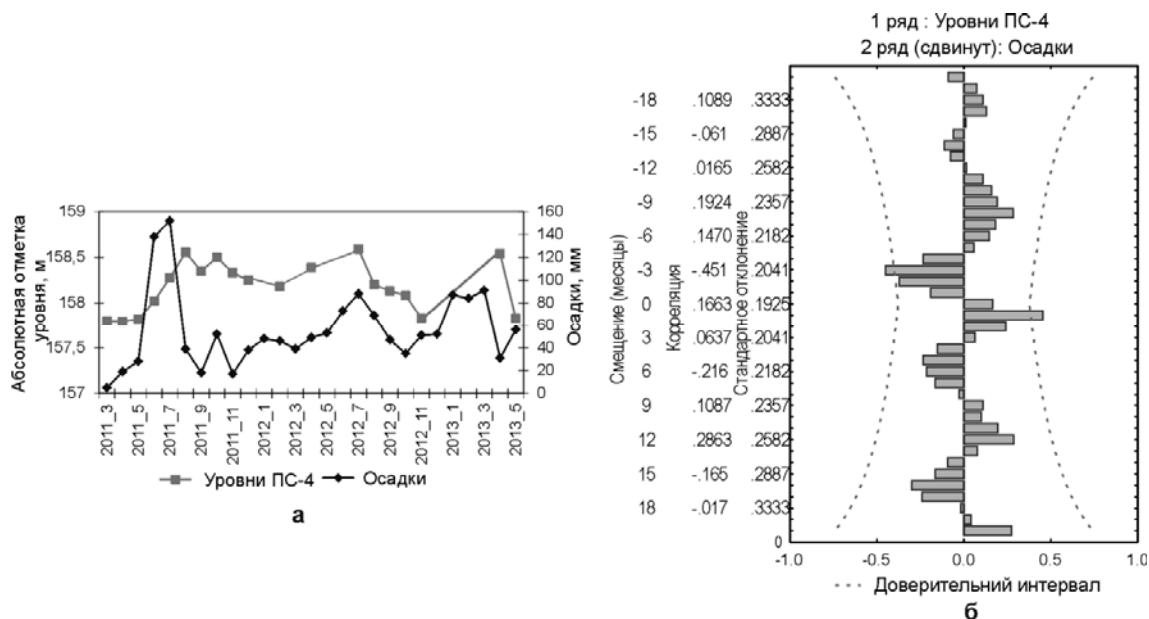


Рис. 7. Совмещенные графики изменения уровня грунтовых вод для пьезометрической скважины ПС-4 и помесячного количества осадков (а) и соответствующая им функция кросскорреляции (б)

Таблица 2. Оценочные факторы смещения уровней грунтовых вод и осадков по пьезометрическим скважинам

Наименование скважины	Абсолютная отметка оголовка	Мощность (м) и литология водоносного горизонта	Абсолютная отметка водоносного горизонта, м	Абсолютная отметка уровня воды, м			Средняя мощность зоны аэрации, м	Расстояние до бровки склона, м	Смещение, месяцы	
				Минимальная	Максимальная	Средняя			Пределы	Средне-взвешенное
ПС-1	164.41	3.3 песок	156.81	156.11	156.71	156.49	8.01	18	0-2	1.24
ПС-3	164.05	3.7 песок	156.85	156.65	157.35	157.0	7.05	21	0-2	1.1
ПС-4	165.13	1.4 песок	158.93	157.93	158.53	158.23	6.9	29	1-3	1.79
ПС-5	165.31	3.6 супесь	159.81	159.41	159.71	159.56	5.75	70	1-4	3.19
ПС-6	164.24	6.5 суглинок	156.89	158.39	160.29	159.84	5.45	170	3-4	3.51

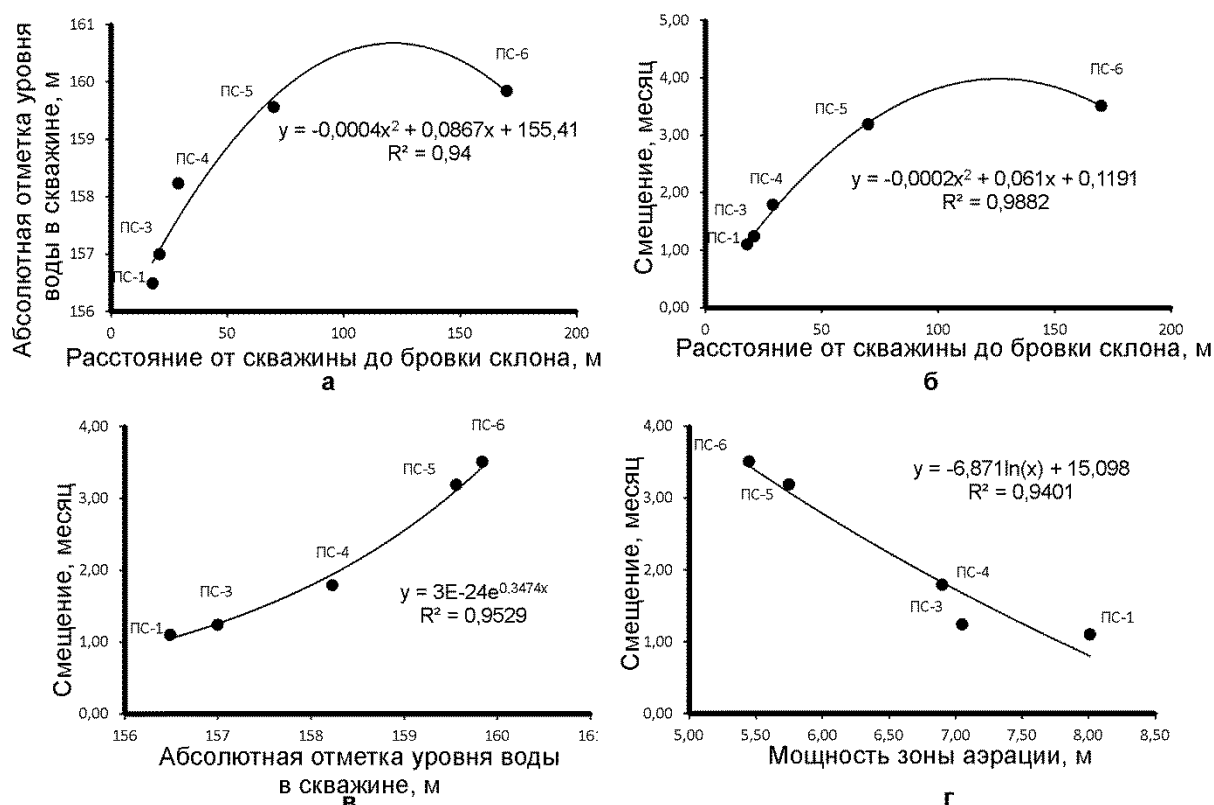


Рис. 8. Графики зависимости уровня воды в скважинах от расстояния до бровки склона и времени запаздывания уровней от гидрогеологических параметров

Оценка статистической надежности результатов регрессионного моделирования выполнена с помощью F-критерия Фишера:

$$F = \frac{R^2(n-2)}{1-R^2},$$

где n – количество исследуемых скважин; R^2 – коэффициент детерминации.

Критическое значение F-критерия для исследуемой выборки данных для уровня значимости $\alpha=0,05$ составляет $F_{кр}=10,13$. Поскольку фактические значения критерия Фишера для всех без исключения зависимостей значительно превышают $F_{кр}$ (Табл. 3), гипотезу о статистической значимости регрессионных моделей, полученных для исследуемого участка, следует считать доказанной.

Таблица 3. Результаты оценки статистической значимости для регрессионных уравнений с использованием критерия Фишера

Эмпирическая зависимость	Коэффициент детерминации, R^2	F-критерий Фишера	Комментарий
а	0,94	47	значима
б	0,9882	251,2373	значима
в	0,9529	60,69427	значима
г	0,9401	47,08347	значима

Выводы.

Формирование уровня режима грунтовых вод на территории исследований в основном осуществля-

ется за счет инфильтрации осадков в водоносный горизонт непосредственно на объекте, инфильтрации осадков на прилегающих площадях с последующим транзи-

том на територію об'єкта, транзита из верхнего бьефа водохранилища Киевской ГАЭС.

Уровневый режим и количество осадков во внутригодовом цикле находится в тесной корреляции с отставанием уровней во времени на величину от 1-2 до 4 месяцев по различным скважинам. Столь значительный разброс в величинах временного смещения свидетельствуют о том, что питание грунтового водоносного горизонта осуществляется за счет различных источников.

При анализе величин разброса смещения уровня по отношению к осадкам по различным скважинам отмечены закономерные составляющие, проявляющие себя в уменьшении этого смещения с приближением к зоне разгрузки подземных вод (Киевскому водохранилищу), прямой корреляции смещения с абсолютными отметками уровней в этом же направлении и соответственно обратной корреляции с мощностью зоны аэрации.

Анализ осадков, уровней и их смещения во времени на данном этапе не выявил существенного отклонения от ритма естественного режима непосредственно в Межигорье и за пределами зон влияния техногенных объектов. Различия в уровненом режиме гипотетически могут быть объяснены причинами геологического характера. Вместе с тем настораживают и пока не нашли однозначного объяснения высокие абсолютные значения изменений уровня и повышение их в летний меженьный период, а также понижение уровней в водоемах при отключенных источниках их питания и нулевой испаряемости.

В силу предыдущего замечания, нельзя исключить наличие техногенных факторов обводнения территории (утечки из водоемов и водно-хозяйственных коммуникаций, орошение, полив, снижение испаряемости вследствие застройки и др.). Поэтому дальнейшим необходимым этапом анализа следует полагать разделение природно-техногенного обводнения территории на природную и техногенную составляющие с их количественной оценкой по независимой от представленной здесь методике исследований. Объективно нарастание оползневой активности на территории урочища Межигорье заставляет искать причины гидрогеологического характера.

Список использованных источников

1. Балалаев А.К. Изучение влияния абиотических факторов на режим грунтовых вод в условиях степной зоны Левобережной Украины / А.К. Балалаев, А.В. Котович // *Экология та ноосферология*. – 2003. – Т. 14, № 3,4 – С. 62 – 72.
2. Билеуш А.И. Опознати и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К.: Наук. думка, 2009. – 560 с.
3. Гидрогеологическая карта кайнозойских отложений. Серия Днепровско-Донецкая. Масштаб 1:50 000. Лист М-36-49-Б (Киевский промышленный район) / Е.В. Шестопалова, Л.П. Кузишина и др.; ред. И.Н. Павловец. – К.: ВСЕГИНГЕО. – 1984.
4. Давибида Л.І. Закономірності динаміки рівнів підземних вод і чинників їх формування в межах території Дніпропетровської області / Л.І. Давибида, Е.Д. Кузьменко // *Геодинаміка*. – 2011. – № 1(10). – С.84-94
5. Давибида Л.І. Регіональний довгостроковий прогноз природного режиму ґрунтових вод із використанням геоінформаційних технологій (на прикладі Житомирської і Дніпропетровської областей). – дис. ... канд. геол. наук: спец. 04.00.05 "Геологічна інформатика" / Л.І. Давибида. – К., 2012. – 302 с.
6. Довгостроковий прогноз зсувної активності на території правобережжя Київського водосховища / Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний, О.О. Нікіташ, Л.В. Штогрин // *Геодинаміка*. – 2012. – № 1(12). – С. 93 – 102.
7. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2 т. / под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осюка. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т. 1. – 592 с.
8. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду / В.С. Ковалевский. – М: Наука, 1994. – 138 с.
9. Кошляков О.Е. Моніторинг гідрогеодинамічної складової геологічного середовища урбанізованих територій (на основі ГІС): авторефер. дис. ... д-ра геол. наук: спец. 04.00.05 "Геологічна інформатика" / О.Е. Кошляков. – К., 2011. – 32 с.
10. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів / Е.Д. Кузьменко, О.М. Журавель, Т.Б. Чепурна та ін. // *Геоінформатика*. – 2011. – №3 – С. 61-74.
11. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. Геоінформаційна система прогнозування екзогенних геологічних процесів /

Е.Д. Кузьменко, О.М. Журавель, Т.Б. Чепурна та ін. // *Геоінформатика*. – 2011. – №4. – С.58-77.

12. Рубан С.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Монографія / С.А. Рубан, М.А. Шинкаревський. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 572 с.

13. Шестопалов В.М. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В.М. Шестопалов, А.С. Богуславский, В.Н. Бублясь. – К.: Научно-инженерный центр радиогидрогеологических полигонных исследований. Институт геологических наук НАН Украины, 2007. – 120 с.

14. Тимків М.М. Огляд методів гідрогеологічного моніторингу підземних вод України на прикладі Житомирської області / М.М. Тимків, Л.І. Давибида // *Геоінформатика*. – 2014. – №4. – С.73-80.

15. Kabir M. Groundwater-Climate Relationships, Ranger Uranium Mine, Australia: Time Series Statistical Analyses / M. Kabir, M. Hamza, K. Mudd // *Uranium, Mining and Hydrogeology: 5th International Conference, Freiberg, Germany, 2008. – Freiberg, 2008. – P. 70 – 72.*

16. Sreenivasulu D. Groundwater Level Forecasting using Radial Basis Function with Limited Data / D. Sreenivasulu, P.Deka // *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. – 2011. – № 4. – P. 1064-1067.

17. Yangxiao Z., Dianwei Dong, Jiurong Liu, Wenpeng Li Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China / Z. Yangxiao, D. Dianwei, L. Jiurong, L. Wenpeng // *Geoscience Frontiers*, 2013. – № 4. – P. 127–138.

18. Zektser I. Modern state of fresh groundwater regional researches / I. Zektser // *Aquamundi*. – 2010. – № 1. – P. 29-36.

References

1. Balalae, A., Kotovich, A. (2003). Izuchenie vliyaniya abioticheskikh faktorov na rezhim gruntovykh vod v usloviyakh stepnoy zony Levoberezhnoy Ukrainy. *Ecology and Noospherology*, 14(3, 4), 62-72. [in Russian].
2. Bileush, A. (2009). Opolzni i protivopolznevye meropriyatiya. Kyiv: Naukova dumka, 560 p. [in Russian].
3. Shestopalova, E., Kuzishina, L. (1984). Hidrogeologicheskaya karta kajnozoijskikh otlozhenij. Seriya Dneprovsko-Doneckaja. Masshtab 1:50 000. List M-36-49-B (Kievskij promyshlennyj rajon) [Map]. In I. Pavlovce (Ed.). Kyiv: VSEGIN GEO. [in Russian].
4. Davybiida, L., Kuzmenko, E. (2011). Zakonomirnosti dynamiky rivniv pidzemnykh vod i chynnnykiv yikh formuvannya v mezhakh terytorii Dnipropetrovskoi oblasti. *Geodynamics*, 1(10), 84-94. [in Ukrainian].
5. Davybiida L.I. (2012) Rehionalnyi dovhostrokoviy prohnaz pryrodnoho rezhymu gruntovykh vod iz vykorystanniam heoinformatsiinykh tekhnolohii (na prykladi Zhytomyrskoi i Dnipropetrovskoi oblasti). Philosophy Doctor's thesis (Geological informatics). Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv, 302 p. [in Ukrainian].
6. Kuzmenko E. D., Chepurnyi I. V., Nikitash O. O., Shtohryn L. V. (2012). Dovhostrokoviy prohnaz zsuivni aktivnosti na terytorii pravoberezhzhia Kyivskoho vodoshkovyshcha. *Geodynamics*, 1(12), 93-102. [in Ukrainian].
7. Rud'ko, G. I., Osijuk, V. A. (Eds.). (2012). Inzhenernaja geodinamika Ukrainy i Moldovy (opolznevye geosistemy). Chernivcy: Bukrek, 592 p. [in Russian].
8. Kovalevskij, V.S. (1994) Vliyanie izmenenij gidrogeologicheskikh uslovij na okruzhajushhuju sredu. Moscow: Nauka, 138 p. [in Russian].
9. Koshliakov O.Ye. (2011) Monitorynh hidroheodynamičnoj skladovoi heolohichnoho seredovyscha urbanizovanykh terytorii (na osnovi GIS). Extended abstract of Doctor's thesis (Geological informatics), Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv, 32 p. [in Ukrainian].
10. Kuzmenko, E., Zhuravel, O., Chepurna, T., Chepurnyi, I., & Shtohryn, L. (2011). Prohnazuvannya ekzohennykh heolohichnykh protsesiv. Part 1. Teoretychni peredumovy prohnazuvannya ekzohennykh heolohichnykh protsesiv. Zakonomirnosti aktivizatsii zsuiv. *Geoinformatika*, 3, 61-74.
11. Kuzmenko, E., Zhuravel, O., Chepurna, T., Chepurnyi, I., & Shtohryn, L. (2011). Prohnazuvannya ekzohennykh heolohichnykh protsesiv. Part 2. Zakonomirnosti rozvytku poverkhnevnykh proiaviv karstu ta seliv. Heoinformatsiina sistema prohnazuvannya ekzohennykh heolohichnykh protsesiv. *Geoinformatika*, 4, 58-77.
12. Ruban, S.A., Shynkarevskiy, M.A. (2005). Hidroheolohichni otsynky ta prohnazy rezhymu pidzemnykh vod Ukrainy. Kyiv: UkrSGRI, 572 p. [in Ukrainian].
13. Shestopalov V. M., Boguslavskij A. S., Bubljas' V. N. (2007). Ocenka zashishhennosti i ujazymosti podzemnykh vod s uchedom zon bystroj migracii. Kyiv : Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 120 p. [in Russian].
14. Tymkiv M. M., Davybiida L. I. (2014). Ohliad metodiv hidroheolohichnoho monitorynhu pidzemnykh vod Ukrainy na prykladi Zhytomyrskoi oblasti. *Geoinformatika*, 4, 73-80. [in Ukrainian].
15. Kabir, M., Hamza, K., Mudd, M. (2008). Groundwater-Climate Relationships, Ranger Uranium Mine, Australia: Time Series Statistical Analyses . In *Uranium, Mining and Hydrogeology: 5th International Conference (pp. 70-72)*. Freiberg, Germany.
16. Sreenivasulu, D., Deka, P. (2011). Groundwater Level Forecasting using Radial Basis Function with Limited Data. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 4, 1064-1067.
17. Yangxiao, Z., Dianwei Dong, Jiurong Liu, (2013). Wenpeng Li Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China. *Geoscience Frontiers*, 4, 127–138.
18. Zektser, I. (2010). Modern state of fresh groundwater regional researches. *Aquamundi*, 1, 29-36.

Надійшла до редколегії 02.02.17

E. Kuzmenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: kuzmenko-eduard@rambler.ru,
L. Davybida, Cand. Sci. (Geol.)
E-mail: davybida@yandex.ua
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Institute of Geology and Geophysics,
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine,
V. Zinchenko, Director of operations
E-mail: ipi-aratta@ukr.net
The Institute of Applied Research "Aratta"
2/1 Vitaly Szymanowski Str., office 114th, Kyiv, 02660, Ukraine,
A. Nikitash, Director
E-mail: centrigrdro@mail.ru
Center hydrogeological, geological and environmental studies NSRGE "Pivnichgeologiya"
10. Geophysics Str., Kyiv, 02088, Ukraine,
E. Yakovlev, Dr. Sci. (Thehn.), Main Research Officer
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua
Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine
13 Chokolivsky Bulvar, Kyiv, 03186, Ukraine

POWER SOURCES AND DYNAMICS OF GROUNDWATER LEVELS ON THE RIGHT BANK OF THE KYIV RESERVOIR

Relevance of the research was determined by the necessity of studying the dynamics of soil water content depending on the temporal variability of hydrogeological and geotechnical characteristics. In turn, the study of the characteristics is necessary for hydrogeological calculations related to evaluation of groundwater treatment, and for determining the prospects for development and activation of exogenous geological processes. This paper presents results of investigation of the hydrogeological and geotechnical conditions within natural boundary of Mezhyhirya which is located on the right bank of the Kyiv hydroelectric reservoir on the Dnieper. The power sources of the aquifers were identified on the basis of information analysis that was obtained by the study of groundwater level regime. It was revealed that the shaping of the groundwater levels regime was carried out by the rainfall infiltration in the aquifer directly on the site, the infiltration of precipitation in the adjacent areas and further transit on the territory, the transit from the reservoir of the Kyiv pumped-storage. It was proved that in the annual cycle the levels regime and the variability of rainfall are in close correlation with the time lags of levels in the magnitude of 1.2 to 4 months. Dependencies of the levels time lags in relation to precipitations were identified. The dependencies are shown in the reduction of time lags approaching to the groundwater discharge zone and in a direct correlation between the lags and altitudes of the levels in the same direction and, therefore, in inverse correlation with the power of the aeration zone. The basis of the input data has been generated for further research and integrated assessment of landslide hazards within the territory near the slopes.

Keywords: groundwater levels, precipitation, hydrogeological regime, observation wells, irrigation factors, correlation analysis.

Е. Кузьменко, д-р геол.-мін. наук, проф.
E-mail: kuzmenko-eduard@rambler.ru,
Л. Давибіда, канд. геол. Наук
E-mail: davybida@yandex.ua
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут геології і геофізики, вул. Карпатська, 15, м Івано-Франківськ, 76019, Україна,
В. Зінченко, викон. Директор
E-mail: ipi-aratta@ukr.net
Інститут прикладних досліджень "Аратта",
вул. Віталія Шимановського, 2/1, офіс 114-а, м Київ, 02660, Україна,
А. П. Нікіташ, директор
E-mail: centrigrdro@mail.ru
Центр гідрогеологічних та геолого-екологічних досліджень ПДРГП "Північгеологія"
Пров. Геофізиків, 10, м Київ, 02088, Україна,
Е. Яковлев, д-р техн. н., гол. наук. співроб.
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Чоколівський бульвар, 13, м Київ, 03186, Україна

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТА ДИНАМІКА РІВНІВ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ПРАВОБЕРЕЖЖІ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю вивчення динаміки обводнення ґрунтів залежно від чинників часової мінливості гідрогеологічних та інженерно-геологічних характеристик. Вивчення останніх, у свою чергу, потрібне при гідрогеологічних розрахунках, пов'язаних з оцінкою режиму ґрунтових вод, а також при визначенні перспектив розвитку й активізації екзогенних геологічних процесів. У даній публікації представлені результати вивчення гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов території урочища Межигір'я, розташованого на правому березі водосховища Київської гідроелектростанції на Дніпрі. На основі аналізу інформації, отриманої в результаті дослідження рівневого режиму ґрунтових вод, виявлені джерела живлення водоносних горизонтів. Встановлено, що формування режиму рівнів здійснюється за рахунок інфільтрації опадів у водоносний горизонт безпосередньо на об'єкті, інфільтрації опадів на прилеглих ділянках із подальшим транзитом на територію об'єкту, транзитом з водосховища Київської ГАЕС. Доведено, що режим рівнів і мінливість кількості опадів у внутрішньорічному циклі знаходиться в тісній кореляції із відставанням рівнів у часі на величину від 1-2 до 4 місяців. Виявлено закономірності зміщення рівня по відношенню до опадів, що проявляють себе в зменшенні періоду зміщення з наближенням до зони розвантаження підземних вод, прямої кореляції зміщення з абсолютними відмітками рівнів в цьому ж напрямку і відповідно оберненої кореляції з потужністю зони аерації. Сформовано базу вихідних даних для подальших досліджень і комплексної оцінки зсувної небезпеки в присхолових ділянках території.

Ключові слова: рівні ґрунтових вод, опади, гідрогеологічний режим, спостережні свердловини, чинники обводнення, кореляційний аналіз.

УДК 551.4.08

Pamela Nolakana, Abdi Siad, Henok Solomon
Earth Science Department, Science Faculty, University of the Western Cape, Private Bag X 17,
Modderdam Road, Bellville, 7535, Cape Town, South Africa

EVALUATION OF GROUNDWATER SUITABILITY FOR DOMESTIC AND IRRIGATIONAL PURPOSES IN NEWCASTLE, KWAZULU-NATAL, SOUTH AFRICA

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

The study was conducted in Newcastle, in the KwaZulu-Natal province of South Africa. In order to evaluate the quality of groundwater in study area, 31 samples were collected. The samples were analysed for Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Chloride (Cl^{-}), Sulfate (SO_4^{2-}), Bicarbonate (HCO_3^{-}), Nitrate (NO_3^{-}), Fluoride (F^{-}) (pH, TDS and Ec. The South African Quality Water Guidelines (SAQWG) and the World Health Organization (WHO) water standards were used as the basis of evaluating the suitability of groundwater for drinking purposes. Electrical Conductivity (EC), Sodium Percent (Na %), Sodium Adsorption Ratio (SAR), Residual Sodium Carbonate (RSC), Kelly's Ratio (KR), Magnesium Ratio (MR) and Permeability Index (PI) were used to evaluate suitability for irrigation. The spatial distribution of the results was presented using ArcGIS. The groundwater was found to be generally alkaline, soft to hard and fresh to brackish in nature. The order of abundance of major ions in the groundwater, based on their mean values is as follows: $Na^{+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+}$ and $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > NO_3^{-}$.

Keywords: Groundwater, SAQWG, suitability, domestic, irrigation.

Introduction. Groundwater is one of the most valuable natural resources on earth and it forms an important part of the total water resources of South Africa. For this reason, this resource should be monitored and controlled on a regular basis. The aim of this study was to assess the groundwater suitability for domestic and irrigation purposes. The study was conducted in Newcastle, in the KwaZulu-Natal province of South Africa (Fig. 1). For the purpose of this study 31 samples were collected from 31 boreholes in and around the town of Newcastle. The samples were analysed for Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Chloride (Cl^{-}), Sulfate (SO_4^{2-}), Bicarbonate (HCO_3^{-}), Nitrate (NO_3^{-}), Fluoride (F^{-}) (pH, TDS and Ec. The SAQWG [5] and the WHO [18] water standards were used as the basis of evaluating the suitability of groundwater for drinking purposes. For irrigation, Electrical Conductivity (EC),

Sodium Percent (Na %), Sodium Adsorption Ratio (SAR), Residual Sodium Carbonate (RSC), Kelly's Ratio (KR), Magnesium Ratio (MR) and Permeability Index (PI) were used to evaluate suitability. Lastly, the spatial distribution of the results was presented using ArcGIS.

The geology in Newcastle mainly consists of rocks from the Karoo Super Group. Deposition of these sediments began late Carboniferous and continued to accumulate until Early Jurassic when it was interrupted and eventually brought to a close by widespread flood basaltic volcanism [2]. The rocks that outcrop in the study area belong to Beaufort Group (consisting of mud and sandstone), Karoo Dolerite and the Volksrust Formation (silty shale and sandstone) and Vryheid Formation (consist primarily of sandstone and several coal seams) of the Ecca Group (Fig. 2). Of these, however, the Vryheid formation is the most dominant in the study area.

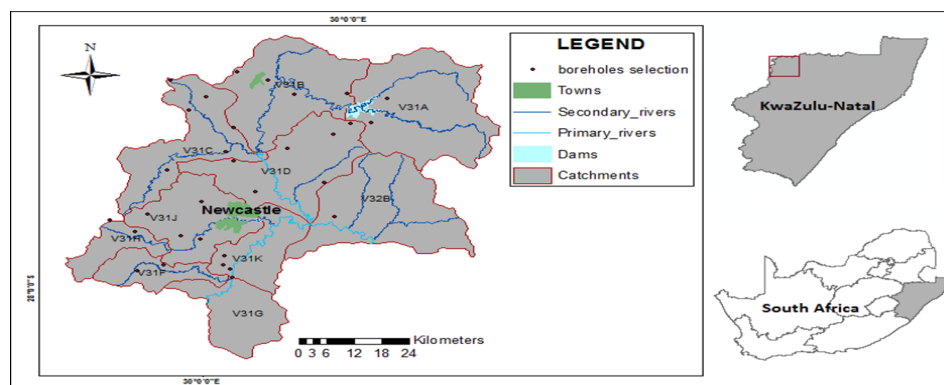


Fig. 1. Study area and location of boreholes

The indicated aquifer types in the Newcastle area are intergranular and fractured aquifers with an extremely low to medium development potential. The underlying geology is mostly arenaceous rock of the Ecca Formation SAQWG [4]. The host geology of the area consists of consolidated sediments of the Karoo Super Group and consists mainly of sandstone, shale and coal beds of the Vryheid Formation. Most of the groundwater flow will be along the fracture zones that occur in relatively competent host rock.

The groundwater geochemistry of the study area is dominated the following water types Ca-Mg- HCO_3 , Na- HCO_3 , Ca-Na- SO_4 - HCO_3 (Mixed water type) and Na-Cl [12]. The Ca-Mg- HCO_3 facies mainly found in 18 of the boreholes in the study area, these boreholes are mainly distributed in the Vryheid Fm and in the contact zones between the Karoo dolerite with the Volksrust Fm and with

the Vryheid Fm. This type of water is mainly attributed to the dissolution of carbonate minerals and characterised by combined concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^{-} that exceeds 50% of the total dissolved constituent load in meq/L. Na- HCO_3 water generally indicates the occurrence of ion exchange processes. It could also be attributed to silicate weathering, because of the high levels of Na^{+} and HCO_3^{-} which are end products of Albite weathering. Ca-Na- SO_4 - HCO_3 water is a product of mixing of water types attributed to the combined influence of silicate weathering, calcite dissolution, ion exchange processes and gypsum dissolution. Na-Cl is characterised by high levels of Na^{+} and Cl^{-} ions, which could be attributed to halite dissolution and ion exchange processes.

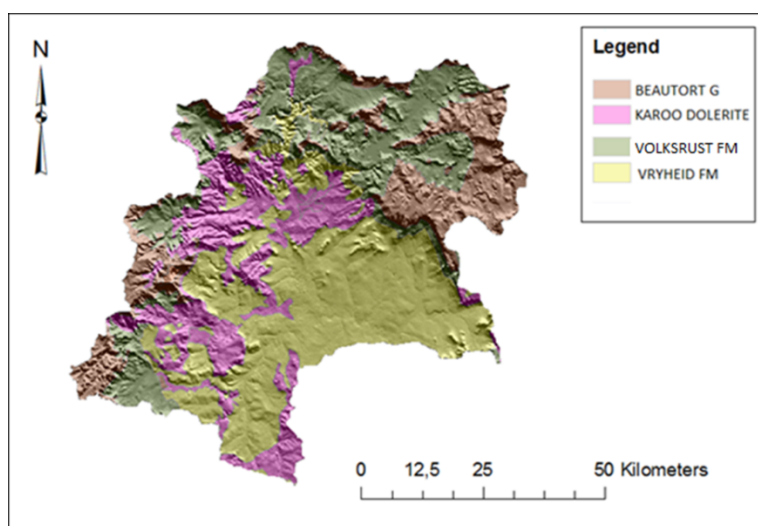


Fig. 2. Local geology of the study area

Methods. The data was supplied by the Department of Water Affairs (DWA). For the purposes of this study 31 samples were used, which were collected from 31 different wells. The wells are located in 10 Quaternary catchments areas in Newcastle. The samples were analyzed for the following: Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), Sodium (Na^+), Potassium (K^+), Chloride (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Bicarbonate (HCO_3^-), Nitrate (NO_3^-), Fluoride (F^-), pH, TDS and EC.

Data Analysis. Univariate Analysis. Physicochemical variables/parameters of the groundwater samples were analysed using Microsoft Excel Spread sheet. This software was utilized for descriptive statistical analysis of the groundwater samples to produce different tables which contain the maximum, minimum, mean and standard deviation. Descriptive statistics were then used for classification and standard comparison of the groundwater.

Standard Water Comparison. Water guidelines/standards are developed to ensure that water quality remains fit for human consumption and use. These standards are used as guidelines to regulate the concentration of chemical constituents in water to ensure that the level is not harmful to human health [20]. The groundwater geochemistry data from the Newcastle area was compared to water standards to assess whether the quality of the groundwater in the area meets the criteria. The guidelines used for classification and evaluations of the groundwater in the study area are:

For drinking:

Domestic water use SAQWG [5];

Guidelines for drinking water quality WHO [18];

Water classification based on TDS [3];

Water classification based on TDS [8];

Water classification based on TH [17];

Salinity hazard classification based on EC [18].

For irrigation

Electrical Conductivity (Ec);

Sodium Adsorption Ratio (SAR), which is computed using the formula:

$$SAR = \frac{N^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})^2}}$$

with all concentrations expressed in meq/l;

Kelly's ratio (KR):

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

concentrations expressed in meq/l;

Sodium Percentage (Na%):

$$Na\% = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

concentrations expressed in meq/l;

Residual Sodium Carbonate (RSC):

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

concentrations expressed in meq/l;

Magnesium Hazard (MR):

$$MR = \frac{Mg^{2+} \times 100}{Mg^{2+} + Ca^{2+}}$$

concentrations expressed in meq/l;

Permeability Index (PI):

$$PI = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) \times 100}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+}$$

concentrations expressed in meq/l.

RESULTS AND DISCUSSION. This Chapter will present results and discussion based on the groundwater chemistry and the methods that were used to further classify and characterise the hydrochemical processes responsible for the quality of the water.

Evaluation for Suitability. Evaluation for Drinking Purposes. Chemically, water used for drinking should be soft, low in dissolved salts and free from toxic constituents [16]. The standards for drinking water by SAQWG [5], (Table 1) and WHO [18], (Table 1), were used as the basis of evaluating the suitability of groundwater for drinking purposes.

Table 1. Descriptive statistics of groundwater chemistry compared with SAWQG (DWA, 1996) and WHO Drinking Water Standards [18]

Variable	Min	Max	Mean	Standard Dev.	SAWQG Target Range	Number of samples exceeding the SAWQG Target Water range	WHO Water Standards (mg/l)	Number of samples exceeding WHO recommended limit
pH	6.65	10.09	7.79	0.52	6.0-9.0	1	-	
EC	4.9	186	41.53	37.49	0-70	4	-	
TDS	29	1091.00	324.78	253.51	0-450	5	1000	2
TH	3.31	504.23	103.29	104.07	-	-	-	
*Ca ²⁺	0.5	123.6	24.26	25.71	0-32	8	250	0

End of table 1

Variable	Min	Max	Mean	Standard Dev.	SAWQG Target Range	Number of samples exceeding the SAWQG Target Water range	WHO Water Standards (mg/l)	Number of samples exceeding WHO recommended limit
*Mg ²⁺	0.5	47.5	10.37	11.08	0-30	2	100	0
Na ⁺	2.7	350.5	49.11	68.55	0-100	4	200	1
*K ⁺	0.15	4.84	1.55	1.25	0-50	0	12	0
Cl ⁻	1.5	430.70	23.10	77.03	0-100	1	250	1
F ⁻	0.11	1.91	0.47	0.42	0-1.1	2	1.5	2
HCO ₃ ⁻	13.3	355.3	146.66	77.10	-	1	-	-
SO ₄ ⁻	2	525.7	33.67	97.30	0-200	1	250	1
NO ₃ ⁻	0.02	4.78	0.64	1.16	0-6	0	50	0

N=31. All values are in mg/L except EC, in mS/m and pH (no units); – no standard available, *No WHO guideline value assigned, values in the table represent taste threshold values.

The pH of the water in the study area ranges between 6.65 and 10.09 with an average of 7.79, only 1 sample falls outside this range. The pH of water is controlled by dissolved carbonates and higher pH reflects high presence of acid neutralizing constituents [1]. The pH of the study area can be classified as being within the target range for domestic use and is indicative of the alkaline nature of the groundwater in the area. Ec ranges from 4.9 to 186 mS/m with a mean value of 41.53 mS/m, 37 of the groundwater samples fall within the target range (0-70 mS/m) with only 4 of the samples falling outside this range. The high of Ec in these boreholes is mainly due to the high levels of Na⁺ and Cl⁻ and it is known to cause gastrointestinal irritation in human beings after long term use [16]. The concentration of TDS in the groundwater varies from 29 to 1091 mg/l with an average of 324.77 mg/l. Most of the samples fall within the desirable range with only 5 out of 31 samples falling outside this range as per SAWQG [5] and 2 as per WHO [18] standards. Figure 3 shows the two areas that show an increase in TDS concentration, boreholes 13 and 31 are situated on the Vryheid Fm. High TDS values in these two boreholes is mainly related to high levels of Na⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ ions. The order of abundance of major ions in the groundwater, based on their mean values is as follows: Na>Ca>Mg>K and HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻>NO₃⁻. The desirable range for Na⁺ according to the SAWQG [5] is ≤ 100 mg/l and ≤ 200 according to [18] standards. Na⁺ in the study area varies from 2.7 to 350.5 mg/l with an average of 49.11 mg/l, most of the samples fall within the target range, 4 samples fall out of the desirable range as per SAWQG [5] and 1 as per WHO [18] standards. Figure 4, a shows that this sample comes from borehole 13, situated in the Vryheid Formation, the source of high Na⁺ ions in this borehole might be from silicate weathering. Borehole 13 also shows high levels of Cl⁻, this might also be indicative of halite dissolution as another source of these ions in the area.

Ca²⁺ in the study area ranges between 0.5 and 123.6 mg/l with an average of 24.26mg/l and the SAWQG [5] target range is <32 mg/l. 23 of the samples fall within the target range while 8 are outside this range. The concentration of Mg²⁺ found in the samples of the study area ranges between 0.5 to 47.5 mg/l with average value of 10.37 mg/l. The target range according to the SAWQG [5] is <30 mg/l, 29 of the samples in the area fall within the

target range. Calcium and Magnesium do not have WHO guideline value assigned to them because they are not of concern in values found in water [18]. But all values do fall into the taste threshold values as per [18] (Fig. 5, a, b).

HCO₃⁻, which is the most dominant anion in the study area, has concentrations that vary from 13.3 to 355.3 mg/l and an average of 146.66 mg/l. The HCO₃⁻ levels in water are directly related to the alkalinity of the water [7] and the high levels of HCO₃⁻ indicate that the groundwater is alkaline in nature meaning that the groundwater has a high capacity to neutralize acid forming reactions. The target range for Cl⁻ according to the SAWQG [5] is 0-100 mg/l and ≤ 250 mg/l according to [18] standards, the concentration in the study area ranges from 1.5 to 430.7 mg/l with an average of 23.10 mg/l. Only 1 sample exceeds both the SAWQG [5] and WHO [18] target range for Cl⁻, figure 6, a shows that this sample is situated on the Vryheid Fm in borehole 13. The high levels of Cl⁻ in this borehole correlate with high levels of Na⁺ and this could be an indicative of halite dissolution as source of Cl⁻ ions in this borehole. SO₄²⁻ levels range from 2 to 525.7 mg/l with an average of 33.67 mg/l and 1 of sample falls outside the target range as per SAWQG [5] and WHO [18] standards; this sample is situated in borehole 31 (Fig. 6, b). The source of SO₄²⁻ in this borehole might be due to gypsum dissolution, because this borehole also shows high concentration of Ca²⁺. The concentration of F⁻ in the study area ranges between 0.11-1.91 mg/l with an average of 0.42 and 2 of the groundwater samples fall outside the desirable range as per SAWQG [5] and WHO [18] standards.

TDS is one of the most important parameters used to investigate water suitability for drinking. [3] and [8] devised classification methods to classify water suitability according to TDS levels.

According to [3] groundwater classification based on TDS (Table 2), 83.87% of the groundwater in the study area is desirable for drinking and 9.68% of the groundwater samples indicate permissible TDS values. Furthermore, 6.45% of the groundwater samples in the study area are useful for irrigation purposes. None of the samples fall into the unfit for drinking classification. The high levels of TDS in this water are mainly due to high levels of Na⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ ions these boreholes. Based on these classifications the water is suitable for both drinking and irrigation.

Table 2. Davis and DeWiest (1966) Classification based on TDS

TDS(mg/l)	Classification	Number of samples	Percentage
<500	Desirable for drinking water	26	83.87%
500-1000	Permissible for drinking water	3	9.68%
1000-3000	Useful for irrigation water	2	6.45%
>3000	Unfit for drinking and irrigation	0	0

Classification based on TDS according to [8] (Table 3) shows that 93.54% of the groundwater samples are considered fresh water while 6.45% is classified as

brackish water type. None of the groundwater samples fall into the saline and brine water type.

Hardness of water limits its use for industrial purposes because hard water causes scaling of pots, boilers and irrigation pipes and it may cause health problems to humans, such as kidney failure WHO [20]. Classification of water based on TH by [17] (table 4) indicates that water with TH lower than 75mg/l is considered soft and higher than 300 mg/l is considered very hard. 54.84 % of the groundwater samples fall into the soft category, 19.35% moderately high classification, 22.58% hard and 3.23% fall within the very hard classification.

Figure 7 below illustrates the spatial distribution of concentration of TH with consideration to the [17] classification. Concentration between 150 and 300 (hard category) are found in boreholes 30, 24, 14, 5, 3, 16, and 19 and concentration of > 300 which belong to the hard category are found in borehole 31. The reason for high TH in these boreholes especially 31 is due to the high concentration of Ca^{2+} and Mg^{2+} , which could be due to silicate weathering, carbonate weathering and gypsum dissolution in the Vryheid and Volkrust Formation.

Table 3. Freeze and Cherry (1979) classification based on TDS

TDS (mg/l)	Classification	Number of samples	Percentage
<1000	Fresh water	29	93.54%
1000-10000	Brackish water type	2	6.45%
10000-100000	Saline water type	0	0
>100000	Brine water type	0	0
Total		31	100

Table 4. Sawyer and McCarthy (1967) classification based on TH

TH	Classification	Number of samples	Percentage
<75	Soft	17	54.84%
75-150	Moderately high	6	19.35%
150-300	Hard	7	22.58%
>300	Very Hard	1	3.23%

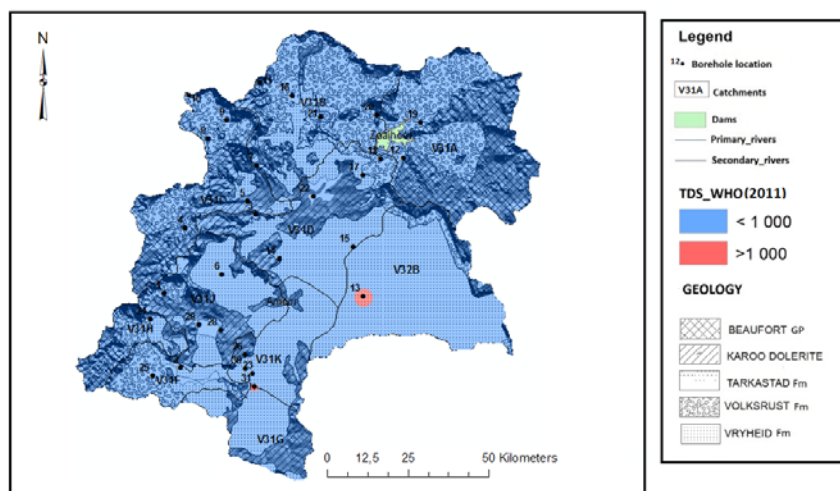


Fig.3. TDS concentration classification of the groundwater samples based on WHO [19] drinking water Guidelines

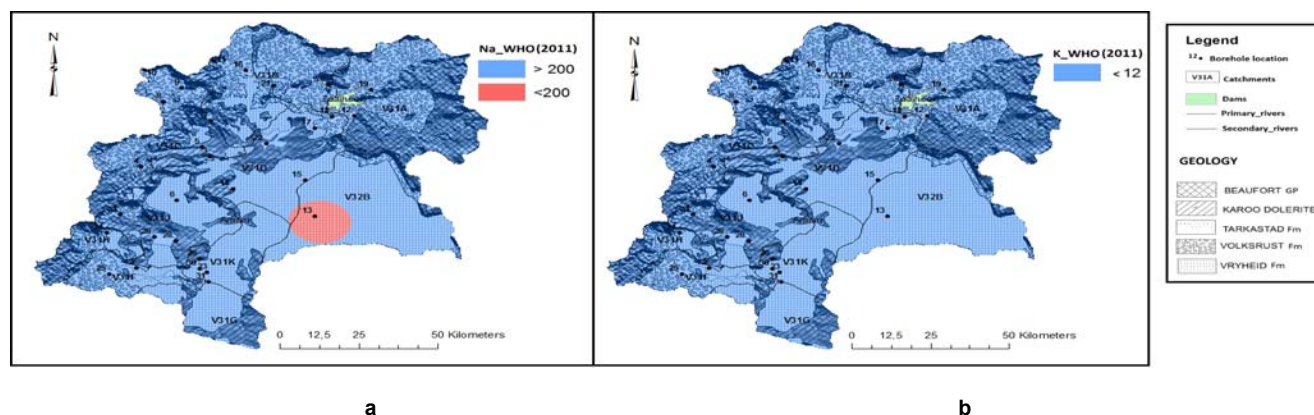
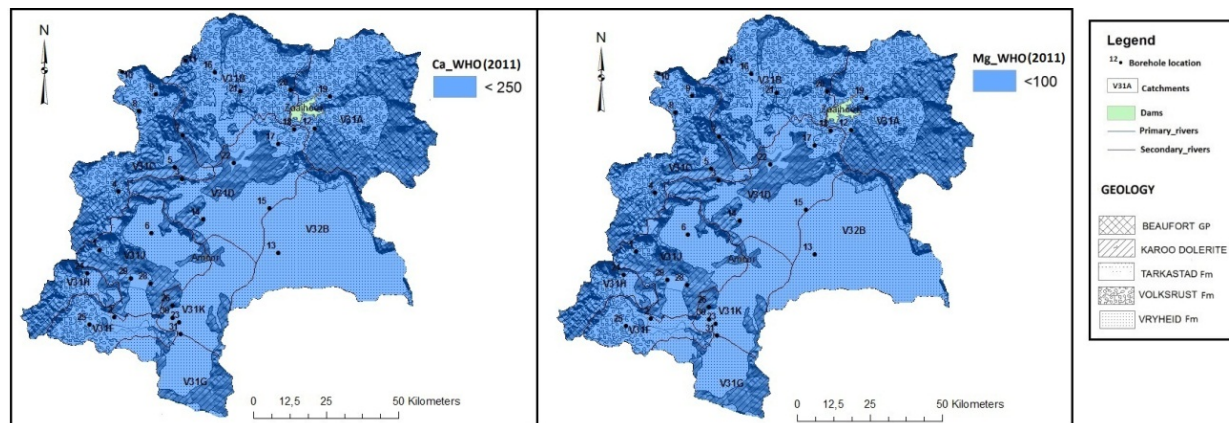


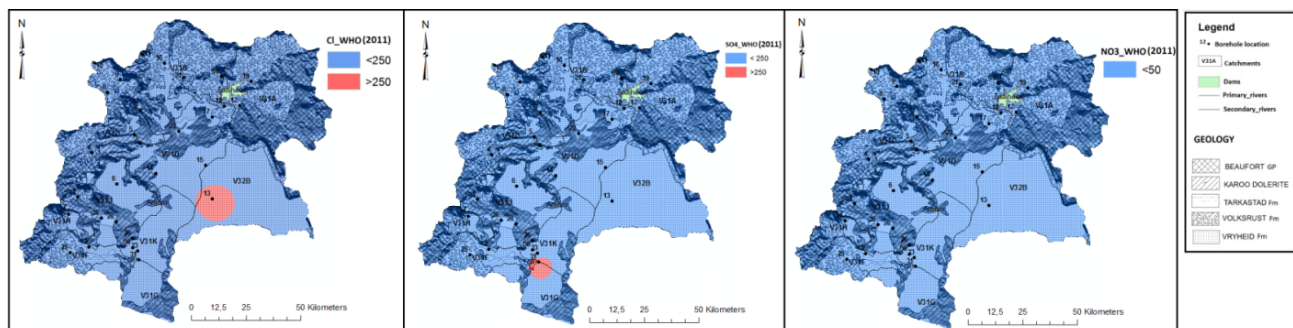
Fig. 4. Cations (a) Na^+ and (b) K^+ concentration classification of the groundwater samples based on [18] drinking water guidelines



a

b

Fig. 5. Cations (a) Ca^{2+} , (b) Mg^{2+} concentration classification of the groundwater samples based on [18] drinking water guideline



a

b

c

Fig. 6. Anions (a) Cl^- , (b) SO_4^{2-} and (c) NO_3^- concentration classification of the groundwater samples based on WHO [19] drinking water guidelines

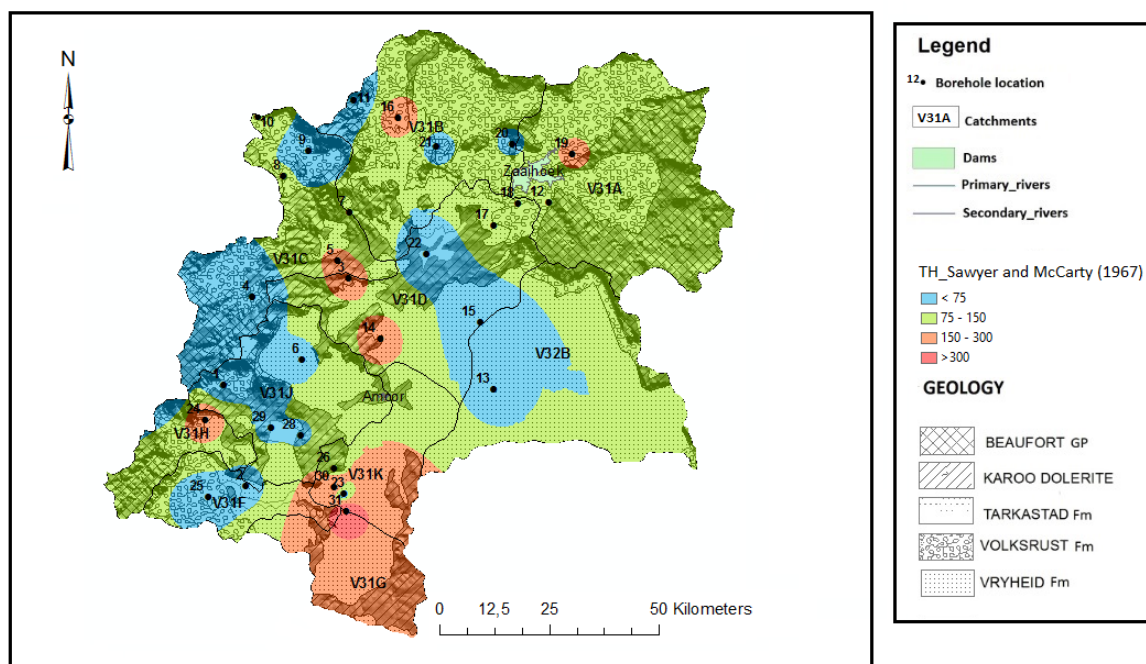


Fig. 7. TH concentration classification of the groundwater samples based [18] classification

Parameters used to assess the quality of water for irrigation include:

total salt concentration measured by EC (salinity hazard);

the relative proportion of sodium which indicate the sodium hazard, which are:

the Sodium percent;

Sodium Absorption Ratio (SAR);

Residual Sodium Carbonate (RSC);

Kelly's ratio.

Permeability index.

Magnesium hazard

Water with inferior quality for irrigation could lead to reduced crop yield [16].

Salinity Hazard. The salinity hazard increases the osmotic pressure of the soil water and restricts the plant roots from absorbing water, the results in a physiological drought condition [10]. Table 5 below shows the classification of water based on EC [18]. According to this classification all the groundwater samples fall in the low salinity hazard classification below 250 mS/m. This shows that, with respect to salinity hazard the groundwater in the study area is suitable for irrigation.

Table 5. Classification of water based on EC (US salinity Laboratory, 1954)

Salinity Hazard	EC(mS/m)	No. Of samples	%
Low	<250	31	100
Medium	250-750	0	0
High	750-2250	0	0
Very high	>2250	0	0
Total		31	100

Sodium hazard. The sodium hazard results from accumulation of sodium in an excessive amount which causes the physical structure of the soil to breakdown. When calcium and magnesium are replaced by sodium adsorbed on clays, the results is the dispersal of the soil particles. Consequently, the soil becomes hard and compact when dry and increasingly impervious to water resulting in plant roots not getting enough water [10]. For this reason, the sodium in water is an important parameter when determining suitability of the water for irrigation.

Sodium Adsorption Ratio. The sodium adsorption ratio (SAR) is an index of the potential of a given irrigation water to induce sodic soil conditions. Sodicity in irrigation water is due to high concentration of Na⁺ relative to Ca²⁺ and Mg²⁺. SAR is computed from the relative measures of these cations SAQWG [5]. Water with SAR ≤ 6 is more desirable for irrigation and water with SAR ≥ 9 may cause the soil structure to deteriorate resulting in slower water infiltration and residual soil reduced air movement [14].

The SAR is computed using the formula [9]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times \frac{1}{2}}}$$

Where, the ion concentrations are expressed in meq/l

The minimum and maximum values of SAR for groundwater samples in the area were 0.22 and 21.88 respectively with an average value of 3.75 and standard dev. value is 5.91. 77.4% of the groundwater samples have SAR less than 6 while 22.58% have SAR greater than 9. Majority of the samples have low SAR meaning they have more Ca²⁺ and Mg²⁺ relative to Na⁺, which indicates that the capacity of the water to induce sodic conditions in the

soil is low and are suitable for irrigation. Whereas, 22.58% of the samples have SAR greater than 9 meaning they have more Na⁺ than Ca²⁺ and Mg²⁺, resulting in high capacity of the water to cause soil sodicity and therefore unsuitable for irrigation.

Figure 8 illustrates classification of groundwater in relation to salinity hazard (Ec) and sodium hazard (SAR) by the [18]. According to the classification 87, 1% of the samples fall in the C1S1 (low salinity with low sodium) category which is good for irrigation, while 3.23% falls into the C1S2 (low salinity with medium sodium) category and 9.68% fall into the C1S3 (low salinity with high sodium). The water samples that fall into the C1S3 class have higher sodium content meaning they could lead to alkaline soils [15]. Alkali soils have very poor structure and low infiltration capacity.

Percentage of Sodium. Percentage of Na⁺ is widely used for assessing the suitability of water for irrigation purposes. The sodium percentage (Na%) is computed with respect to relative proportion of cations present in water, where the content is expressed in terms of sodium percentage or soluble sodium percentage defined as:

$$\%Na = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Where, all ionic concentrations are expressed in meq/l

According to the table above (table 6), 64.51% of the samples can be classified as permissible while 12.90% of the groundwater samples fall into the doubtful class. 22.58% of the samples fall into the unsuitable class for irrigation, meaning they have greater Na⁺ levels relative to other cations in the groundwater samples.

Table 6. Classification of water based on percentage Na+ (US salinity Laboratory, 1954)

Na%	Class	Number of samples	% of samples
<20	Excellent	10	32.26%
20-40	Good	6	19.35%
40-60	Permissible	4	12.90%
60-80	Doubtful	4	12.90%
>80	Unsuitable	7	22.58%
Total		31	100

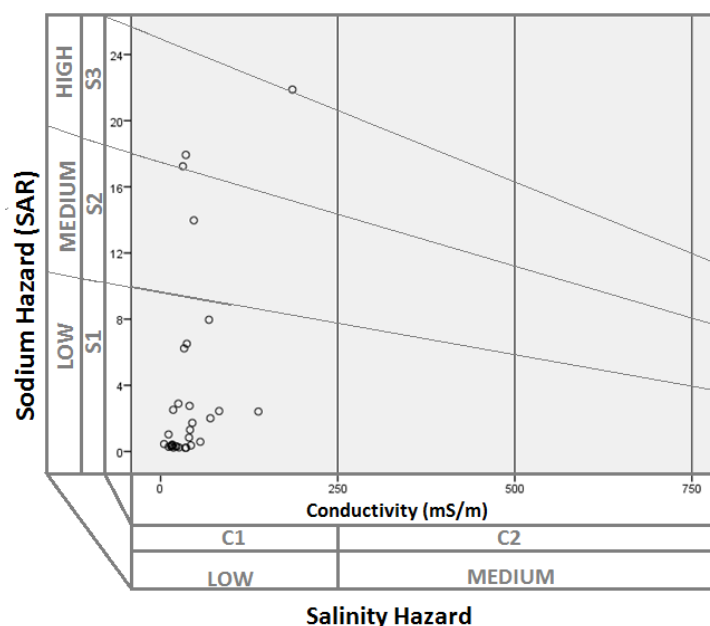


Fig. 8. Classification of groundwater samples in relation to salinity hazard and sodium hazard

Residual Sodium Carbonate (RCS)

High RSC in irrigation water indirectly results an increase in Na^+ levels in the water which increases Sodium Hazard potential of irrigation water. RSC is calculated using the formula:

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

(Concentrations are in meq/L)

Table 7 shows that based on the RSC values for the samples in the study area 77.42% of the samples are safe for irrigation purposes, 16.13% fall under the marginally suitable class and only 6.45% are not suitable. This shows that the majority of the samples have higher Ca^{2+} and Mg^{2+} relative to HCO_3^- .

Table 7. RSC Classification for the study area

RSC	Class	No. Of samples	% of samples
<1.25	Safe	24	77.42
1.25-2.5	Marginally Suitable	5	16.13
>2.5	Not suitable	2	6.45

Kelly's Ratio. Kelly's ratio assesses irrigation water quality based on the level of Na^+ against Ca^{2+} and Mg^{2+} . Kelly's ratio more than 1 indicates an excess level of Na^+ in the water and therefore the water can be considered unsuitable for irrigation. This was calculated employing the equation [11] as:

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

(Concentrations are in meq/L)

The results from the computed Kelly's ratio (table 8) show that 35.48% of the samples in the study area are above the recommended and 64.52% of the samples are within.

Table 8. Kelly's Ratio (Concentrations are in meq/L)

KI	Classification	No. Of samples	% Of Samples
<1	Suitable	20	64.52
>1	Unsuitable	11	35.48

Permeability index. The quality of irrigation water can affect the permeability of the soil after long term use; this can be measured by computing the Permeability index (PI). PI is influenced by sodium, calcium, magnesium and bicarbonate contents of the soil. It can be classified into three classes; class I and II can be categorised as good for irrigation with $\geq 75\%$ permeability while class III water is classified as unsuitable with $< 25\%$ of permeability [6]. PI is calculated using the formula:

$$\text{PI} = \frac{(\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}) \times 100}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+}$$

Where, all ionic concentrations are expressed in meq/l.

PI values computed for the groundwater samples for the study area ranged from 41.0 to 229, 98% with mean value of 97.29%. According to the classification by [6] the

samples fall in the class I and class II which indicates that they are suitable for irrigation.

Magnesium hazard. The use of water with high magnesium content for irrigation may pose a threat to crop yield as it may cause alkaline condition in the soil. [13] developed an index for calculating the magnesium hazard (magnesium ratio (MR)). MR is calculated using the formula:

$$\text{MR} = \frac{\text{Mg}^{2+} \times 100}{\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}}$$

Where, all ionic concentrations are expressed in meq/l.

The computed MR values for the study area range between 15.48 to 72.14 % with mean value of 40.35%. Less than 50% of MR is suitable for irrigation while more than 50% MR is unsuitable for irrigation practice. The results show that 74.19% of the samples from the study area are suitable for irrigation and 22.80% are unsuitable

with respect to MR. This indicates that 22.80% of the groundwater samples have a potential to cause alkaline soil which is known to have low infiltration capacity.

Conclusions. The aim of this study was to evaluate the quality of groundwater in Newcastle and to determine the suitability of the water for drinking and irrigation purposes. The SAWQG [5] and [19] water guidelines were used as the basis of evaluating the groundwater for drinking purposes. For irrigation, EC (salinity hazard), Sodium percent, Sodium Adsorption Ratio (SAR), Residual Sodium Carbonate (RSC), Kelly's ratio (KR), Magnesium hazard and Permeability index were used. The spatial distribution of these results was presented using ArcGIS.

Most of the samples were found to be within the permissible range for both the SAWQG [5] and [19] water guidelines, with only a few falling outside target/permitted range. The groundwater was found to be alkaline in nature with only one sample with pH above the target water range. About 12.90% of the samples have Ec levels above the SAWQG (DWAf, 1996) target water range and 16.13% of the samples showed higher levels of TDS. While most of the samples presented concentrations within the desirable range, a few showed concentration of Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, F⁻ and TDS above the guideline value as per [19] standards. The dominance of major ions in the area is as Na⁺>Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺ and HCO₃⁻>Cl⁻>SO₄²⁻>NO₃⁻.

According to the classification based on TDS by [3] none of the samples in the study area are unfit for drinking and irrigation purposes and the Freeze and Cherry classification based on TDS classifies 93.54% of the samples as freshwater and 6.45% as brackish [18]. Classification based on TH classifies 22.58% of the samples as hard and 3.23% as very hard.

Assessments for irrigation showed that all of the samples fall into the low salinity hazard category according to the classification base on Ec by [19]. Based on the SAR and Permeability index all the samples were found suitable for irrigation while the Na%, RSC, Kelly's ratio and Magnesium Ratio showed that the water from boreholes and catchments 1;V31J, 3;V31D, 4;V31C, 5;V31J, 6;V31J, 9;V31C, 11;V31B, 12;V31A, 13;V32B, 14;V31D, 21;V31B, 22;V31D, 23;V31K, 25;V31F respectively, are unsuitable for irrigation because of its potential to causes sodium hazard.

Recommendations. In view of the findings, it is recommend that the water in the boreholes that exceeded the [19] guidelines and in the boreholes that showed high sodium hazard potential should be treated before use. In future studies, more parameters should be analyzed and observed, such as heavy/trace metals and organics (pesticides and pharmaceuticals) and the effects of seasonal changes or influences in groundwater should be monitored. Programs should also be implemented on how to better protect groundwater from anthropogenic impacts.

Список використаних джерел

1. Abudaya M. Assessment of Chemical Characteristics of the Desalinated Water Used in Household Facilities in Gaza Strip / M. Abudaya, A. Tayeh, A. EL Ramlawi // *Journal of Natural Sciences Research*. – 2014. – Vol. 4, № 1. – P. 72-83.
2. Catuneanu O. The Karoo basins of south-central Africa / O. Catuneanu, H. Wopfner, P. Eriksson et al. // *Journal of African Earth Sciences*. – 2005. – Vol. 43, № 1. – P. 211-253.
3. Davis S. *Hydrogeology* / S. Davis, R. De Wiest. – New York: John Wiley & Sons, 1966. – Vol. 463.
4. Department Water Affairs and Forestry (DWAf). KwaZulu-Natal Groundwater Plan, Version 2, 2008.
5. Department of Water Affairs and Forestry (DWAf): in Holmes S. (Ed.). *South African water quality guidelines* (2nd ed.), 1996. – Vol. 1.
6. Doneen, L.D. Notes on water quality in agriculture. / L.D. Doneen; Department of Water Science and Engineering Paper 4001. – University of California, Davis, 1964.
7. Elamassi K.S. Assessment of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in Gaza governorate-Palestine. / K.S. Elamassi; The Islamic University-Gaza, 2012. – 106 p.

8. Freez, R.A. *Groundwater*. / R.A. Freez, J.A. Cherry. – New Jersey: Prentice Hall Inc., 1979.
9. Hem J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. / J.D. Hem; US Geological Survey Water-Supply, 3rd edn. – Scientific Public, Jodhpur, 1991.
10. Hiscok K. *Hydrogeology: principles and practice* / K. Hiscok. – John Wiley & Sons, 2009.
11. Kelly W.P. Use of Saline Irrigation Water. / W.P. Kelly // *Soil Sci.* – 1963. – Vol. 95(4). – P. 355-391
12. Nolakana P. Geochemical evaluation of groundwater quality in Newcastle, KwaZulu-Natal, South Africa. / P. Nolakana, A. Siad, H. Solomon // *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. – 2016. – Vol. 4 (74). – P. 68-76.
13. Paliwal K.V. Irrigation with saline water. / K.V. Paliwal; Water Technology Centre, Indian Agricultural Research Institute New Delhi, 1972.
14. Peacock L.W. Interpretation of Soil and Water Analysis / L.P. Christensen. – Raisin production manual, ed. L.P. Christensen, UCANR Publications, 2000. – P. 115.
15. Raju N.J. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India / N.J. Raju // *Environmental Geology*. – 2007. – Vol. 52, № 6. – P. 1067-1074.
16. Ramesh K. Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India / K. Ramesh, L. Elango // *Environmental monitoring and assessment*. – 2012. – Vol. 184, № 6. – P. 3887-3899.
17. Sawyer C.N. Chemistry for sanitary engineers / C.N. Sawyer, P.L. McCarty. (2nd ed.). – New York: Education, McGraw-Hill, 1967.
18. US Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. – USDA, Handbook 60, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1954.
19. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). – WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2011. – 564 p.
20. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality (3rd ed.). – Geneva: World Health Organization, 2008.

References

1. Abudaya, M., Tayeh, A., EL Ramlawi, A. (2014). Assessment of Chemical Characteristics of the Desalinated Water Used in Household Facilities in Gaza Strip. *Journal of Natural Sciences Research*, 4, 1, 72-83.
2. Catuneanu, O., Wopfner, H., Eriksson, P., Cairncross, B., Rubidge, B., Smith, R., Hancox, P. (2005). The Karoo basins of south-central Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 43, 1, 211-253.
3. Davis, S., De Wiest, R. (1966). *Hydrogeology*. New York: John Wiley & Sons, Vol. 463.
4. Department Water Affairs and Forestry (DWAf). (2008). KwaZulu-Natal Groundwater Plan, Version 2.
5. Department of Water Affairs and Forestry (DWAf). (1996). In Holmes S. (Ed.), *South African water quality guidelines* (2nd ed.), Vol. 1: Domestic Use. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry.
6. Doneen, L.D. (1964). Notes on water quality in agriculture. Department of Water Science and Engineering Paper 4001. University of California, Davis.
7. Elamassi, K.S. (2012). Assessment of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in Gaza governorate-Palestine. The Islamic University-Gaza, 106 p.
8. Freez, R.A., Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
9. Hem JD (1991). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. US Geological Survey Water-Supply, 3rd edn, Scientific Public, Jodhpur.
10. Hiscok, K. 2009, *Hydrogeology: principles and practice*. John Wiley & Sons.
11. Kelly, W.P. (1963). Use of Saline Irrigation Water. *Soil Sci.* 95(4), 355-391.
12. Nolakana, P., Siad, A., Solomon, H. (2016). Geochemical evaluation of groundwater quality in Newcastle, KwaZulu-Natal, South Africa. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 4(74), 68-76.
13. Paliwal, K.V. (1972). Irrigation with saline water. Water Technology Centre, Indian Agricultural Research Institute New Delhi.
14. Peacock, L.W., Christensen, L.P. (2000). Interpretation of Soil and Water Analysis. Raisin production manual, ed. L.P. Christensen, UCANR Publications, 115.
15. Raju, N.J. (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*, 52, 6, 1067-1074.
16. Ramesh, K., Elango, L. (2012). Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 6, 3887-3899.
17. Sawyer, C.N., McCarty, P.L. (1967). *Chemistry for sanitary engineers* (2nd ed.). New York: Education, McGraw-Hill.
18. US Salinity Laboratory Staff. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA, Handbook 60, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
19. World Health Organization (WHO). (2011). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 564 p.
20. World Health Organization (WHO). (2008). Guidelines for drinking-water quality (3rd ed.). Geneva: World Health Organization.

Памела Нолакана, Абді Сіад, Хенок Соломон

Кафедра Наук про Землю, Факультет Наук, Університет Західного Кейпу, Прайвет Бег Х 17, Модердам Роуд, Бельвіль, 7535, Кейптаун, Південна Африка

ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ПОБУТОВОГО ВЖИТКУ ТА ПОЛИВУ У НЬЮКАСЛІ, КВАЗУЛУ-НАТАЛ, ПІВДЕННА АФРИКА

Дослідження проводилися у Ньюкаслі, провінція Квазулу-Натал, Південна Африка. З метою визначення якості підземних вод у межах території дослідження було відібрано 31 зразок. Зразки аналізувалися на вміст магнію (Mg^{2+}), кальцію (Ca^{2+}), натрію (Na^{+}), калію (K^{+}), хлору (Cl^{-}), сульфатів (SO_4^{2-}), бікарбонатів (HCO_3^{-}), нітратів (NO_3^{-}), фтору (F^{-}), а також рН. Стандарти Південної Африки щодо якості води (SAQWG), а також стандарти, які запроваджує Всесвітня Організація Охорони Здоров'я ВОЗ (WHO) використовувалися у якості основи для визначення можливості вжитку підземних вод для пиття. Для оцінки придатності для поливу використовувалися електрична провідність (EC), вміст у відсотках натрію ($Na\%$), адсорбційне відношення натрію (SAR), залишковий карбонат натрію (RSC), відношення Келлі (KR), відношення магнію (MR) та індекс проникності (PI). Просторовий розподіл результатів наводиться із використанням ArcGIS. Підземні води охарактеризовано у більшості випадків як лужні, м'які та жорсткі, солонуваті у природному стані. На основі визначення середніх значень отримано такий порядок вмісту основних іонів у підземних водах $Na^{+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+}$ and $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > NO_3^{-}$.

Ключові слова: підземні води, SAQWG, придатність, побутовий вжиток, зрошення.

Памела Нолакана, Абді Сіад, Хенок Соломон

Кафедра Наук о Земле, Факультет Наук, Университет Западного Кейпа, Прайвет Бег Х 17, Моддердам Роад, Бельвиль, Кейптаун, Южная Африка

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ БЫТОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПОЛИВА В НЬЮКАСЛЕ, КВАЗУЛУ-НАТАЛ, ЮЖНАЯ АФРИКА

Исследования проводились в Ньюкасле, провинция Квазулу-Натал, Южная Африка. С целью определения качества подземных вод в пределах территории исследования был отобран 31 образец. Образцы анализировались на содержание магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+}), натрия (Na^{+}), калия (K^{+}), хлора (Cl^{-}), сульфатов (SO_4^{2-}), бикарбонатов (HCO_3^{-}), нитратов (NO_3^{-}), фтора (F^{-}), а также рН. Стандарты Южной Африки по качеству воды (SAQWG), а также стандарты, которые использует Всемирная Организация Здравоохранения ВОЗ (WHO) применялись в качестве основы для определения возможности потребления подземных вод для питья. Для оценки пригодности для полива использовались электрическая проводимость (EC), содержание в процентах натрия ($Na\%$), адсорбционное отношение натрия (SAR), остаточный карбонат натрия (RSC), отношение Келли (KR), отношение магния (MR) и индекс проницаемости (PI). Пространственное распределение результатов приводится с использованием ArcGIS. Подземные воды охарактеризованы в большинстве случаев как щелочные, мягкие и жесткие, солоноватые в естественном состоянии. На основе определения средних значений получен такой порядок содержания основных ионов в подземных водах $Na^{+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+}$ and $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > NO_3^{-}$.

Ключевые слова: подземные воды, SAQWG, пригодность, бытовое потребление, орошения.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 551.539.3:622.031

В. Шевчук, д-р геол.-мін. наук, проф.
E-mail: svgeol@yandex.ua,

О. Іванік, д-р геол. наук, проф.
E-mail: om.ivanik@gmail.com

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

М. Лавренюк, канд. фіз.-мат. наук, доц.
E-mail: mykolalav@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Механіко-математичний факультет, просп. Ак. Глушкова 4е, м. Київ, 03127, Україна,

М. Савельєв
E-mail: ms@slavutych.city
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України
просп. Ак. Глушкова 42, Київ, 03187, Україна

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТ
МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ
ПРИ РОЗРОБЦІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

Дослідження напружено-деформованого стану техногенно зміненого масиву гірських порід при розробці пластових вугільних родовищ доцільно проводити методами механіки суцільного середовища, які базуються як на аналітичних та чисельних рішеннях, так і на даних натурних і лабораторних експериментів. Аналітичні рішення надають можливість проводити найменш "затратні" експерименти при широкому діапазоні головних факторів та параметрів середовища. У статті представлено алгоритм та програмну реалізацію моделювання напружено-деформованого стану пластового вугленосного масиву. Вихідною базовою моделлю прийнято модель однорідного пружного масиву. Побудову розрахункових схем виконано для умов плоского деформованого стану. Масив гірських порід, що вміщує пласт, моделюється як однорідний трансверсально-ізотропний породний масив. Визначено критерії правильності розв'язку, які встановлюються шляхом перевірки граничних умов. З метою розв'язку задачі про розподіл напружень в масиві, який моделюється лінійно-деформованим середовищем навколо виробки будь-якої форми поперечного перерізу, визначено відповідний вигляд відображальної функції одичного кола на контур виробки довільного перерізу. Виконано графічне моделювання алгоритму аналітичного розрахунку напружено-деформованого стану фрагменту геологічного масиву з виробкою довільної форми. Представлено програмну реалізацію розробленого алгоритму.

Ключові слова: напружено-деформований стан, вугільний пласт, алгоритм, моделювання, програмна реалізація.

Вступ та постановка проблеми. Проблема вивчення напруженого стану масивів порід неоднорідної будови із властивостями порід, що змінюються, як під впливом геологічних процесів, так і інженерних споруд, має велике практичне та наукове значення. Дослідження величин і розподілу природних напружень в породних комплексах однорідної і неоднорідної будови являє собою складну задачу, що обумовлено великою кількістю діючих природних геологічних і техногенних факторів і сил.

Різноманіття гірничо-геологічних умов та зростання глибин розробки родовищ корисних копалин призводять до необхідності поглибленого аналізу напружено-деформованого стану масивів гірських порід, у тому числі і навколо підземних виробок. Дослідження геомеханічних процесів при цьому має першочергове значення, зокрема, при їх кількісному прогнозуванні, обґрунтуванні надійності підземних споруд в певних гірничо-геологічних умовах, і окрім того, дозволяє вирішувати низку теоретичних питань, пов'язаних із формуванням та природою міцності гірських порід. Розробка родовищ корисних копалин викликає в породному масиві цілий комплекс різних механічних процесів: перерозподіл напружень і деформацій, прориви підземних вод, різноманітні газодинамічні явища тощо. Вивчення вказаних явищ є важливим завданням, так як саме вони визначають економічну доцільність і безпеку проведення робіт.

Вагомий внесок у теорію і практику геомеханічного забезпечення гірничих робіт при розробці пластових родовищ внесли такі вчені та спеціалісти як К.А. Ардашов, А.А. Борисів, Я.А. Біч, О.В. Ковальов, С.В. Комісаров, В.Г. Лабазін, А.М. Лінков, І.М. Петухов, А.Г. Протосеня, Н.М. Проскураков, В.Д. Слесарев, В.М. Шик та ін. Узагальнюючи сучасні методи дослідження напружено-деформованого стану (НДС) геоло-

гічного середовища, слід зазначити, що вони належать до таких головних груп:

- геолого-структурні;
- експериментальні (лабораторне моделювання);
- геодезичні;
- натурні вимірювання;
- теоретичні або розрахункові;
- геофізичні.

У той же час, механізм деформування, руйнування та осідання гірських порід при розробці вугільних родовищ має особливості, що потребують додаткових досліджень. Адже отримання надійних прогнозних оцінок механічних станів масиву (включаючи компоненти тензорів напружень і деформацій та вектору переміщень) дозволяє своєчасно завадити небезпечним проявам гірничого тиску в підготовчих виробках, підвищити безпеку ведення гірничих робіт у межах шахт, мінімізувати витрати на експлуатацію гірничих виробок та загалом вирішити задачу оцінки стійкості гірського масиву [2, 6-8, 9, 12]. Вирішення даного завдання потребує подальшого ефективного використання методів механіки суцільних середовищ із відповідним відображенням процесів зрушення гірських порід та осадки відпрацьованої товщі та, відповідно, розробки спеціальних методик, що базуються на даних практики (маркшейдерські спостереження, спеціальні дослідження процесів деформацій, механічних характеристик масивів тощо).

Розробка алгоритму моделювання НДС фрагменту однорідного геологічного масиву з виробкою. В загальному вигляді алгоритми розрахунку НДС фрагменту однорідного геологічного масиву з виробкою діляться на дві категорії: алгоритми з використанням чисельних методів та алгоритми з аналітичним рішенням. Кожна група алгоритмів має власні переваги і недоліки.

Як правило, точний аналітичний розв'язок отримати неможливо, і він вимагає значної роботи з побудови достатньо адекватної математичної моделі. Водночас кінцеві обчислювальні витрати на отримання результату аналітичними методами фактично лінійні від набору вхідних даних. Ці дані зазвичай отримуються за результатами натурних експериментів (шахтних або лабораторних). Необхідно також відмітити, що при використанні аналітичних методів доводиться, як правило, приймати ряд гіпотез і припущень відносно властивостей досліджуваного середовища та протікання у ньому фізико-механічних процесів.

На противагу аналітичним, чисельні методи здатні дати прийнятне рішення при мінімумі витрат (у разі використання вже існуючих реалізацій базових алгоритмів), проте обчислювальні витрати в кращих випадках досягають поліноміального рівня від обсягу вхідних даних моделі. Серед цих методів найбільш широко відомими є метод скінченних різниць, метод скінченних елементів, метод граничних елементів, метод граничних інтегральних рівнянь та інші методи, які отримали велике розповсюдження в інженерному і науковому середовищі при використанні потужної обчислювальної техніки. При розрахунках НДС гірських масивів ефективним є метод граничних елементів, що використовується для розв'язку просторових задач теорії пружності. Він відрізняється від методу скінченних елементів тим, що дискретизація здійснюється не всередині області, в якій досліджується напружений стан, а тільки на її границі. Такою границею є поверхня досліджуваної виробки, яка представляється у вигляді мозаїки граничних елементів. Шляхом граничного переходу в формулах розв'язку задаються граничні інтегральні рівняння. Розв'язання задачі про розподіл напружень в досліджуваній області, в масиві навколо виробки (виробок), виконується на підставі умов (напружень, переміщень), що задаються на границі області – на поверхні виробки. Точність вирішення задач методом граничних елементів завжди вище, ніж іншими чисельними методами.

Ефективне застосування вказаних методів для вирішення важливих прикладних задач геомеханіки прямо залежить від розробки обчислювальних програм та їх успішної реалізації. Необхідно зауважити, що чисельні методи хоч і є найефективнішими практично для всіх класів задач, які розглядаються в гірничій геомеханіці, але і при їх використанні потрібно застосовувати різного роду спрощення, схематизації та припущення, зокрема, при вивченні механічних процесів у неоднорідних, багатозв'язаних, тріщинуватих, анізотропних масивах гірських порід. Ефективне застосування чисельних методів для вирішення важливих прикладних завдань залежить від розробки програмних середовищ (інтерфейсів), обчислювальних (програмних, системних) процедур та їх реалізації на різних системних платформах (LINUX, WINDOWS та ін.).

На сьогодні вирішення багатьох завдань моделювання механічних процесів в масивах гірських порід здійснюється переважно чисельними методами за допомогою сучасних програмних продуктів [1, 3, 5, 10 та ін.]. Ці програмні комплекси, разом із універсальністю, мають інтерфейс, який є зручним для користувача як при побудові моделей, так і при наочному аналізі отриманих результатів. Переважно у цих програмах для розрахунків параметрів напружено-деформованого стану застосовується метод скінченних елементів. Слід виокремити такі програмні розробки: Ansys – універсальний скінченноелементний програмний пакет, що дозволяє вирішувати задачі в областях: міцності та оцінки поведінки масивів гірських порід, Plaxis 2D (Plaxis 3D

Foundation, Plaxis 3D Tunnel) – програма для розв'язку задач механіки ґрунтів; FLAC 2D (FLAC 3D) – найбільш універсальна програма, яка широко використовується для гірничо-геомеханічних та геотехнічних досліджень, включає багато вбудованих геомеханічних моделей, також дозволяє створювати та інтегрувати користувацькі моделі, включає можливості моделювання різноманітних видів кріплення (сталевих і канатних анкерів, бетону, залізобетону, арок кріплень); процесів по чергової виїмки порід; геологічних порушень; порового тиску вод; ABAQUS – один з найпотужніших пакетів для проведення всебічного скінченноелементного аналізу, є повністю універсальним та дозволяє вирішувати задачі як моделювання механізмів та конструкцій, так і масивів гірських порід у тривимірному моделюванні; UDEC – програма, що базується на методах механіки дискретного середовища. Дозволяє створювати моделі поведінки розбірних масивів; масивів, які мають блочну незв'язну структуру; незв'язних ґрунтів.

Слід зазначити, що наведені програмні комплекси мають певну універсальність, однак з певними проблемами застосовуються для конкретних умов, і не завжди можуть врахувати вагомі фактори виникнення процесів. Це вимагає застосування особливих підходів до моделювання НДС, що зумовлюються особливими умовами будови породного масиву та перебігу геомеханічних процесів.

Алгоритм розрахунку НДС з аналітичним рішенням. Базою для побудови розрахункових схем є прийнята гірничо-геомеханічна модель масиву гірських порід. Як приклад проаналізуємо НДС пластового вугленосного масиву при розробці потужних та середньої потужності пластів довгими очисними забоями. Вихідною базовою моделлю приймемо модель однорідного пружного масиву. Побудову розрахункових схем виконано для умов плоского деформованого стану. Масив гірських порід, що вміщує пласт, моделюється як однорідний трансверсально-ізотропний породний масив.

Оскільки, побудова об'ємних моделей досить трудомістка та машинний час розрахунків у таких моделях, найчастіше, дуже великий (а у більшості випадків доводиться "жертвувати" ступінню апроксимації та використовувати саме пружну модель), то практично основна частина досліджень проводиться на плоских моделях. У нашому випадку, при моделюванні відпрацювання вугільних пластів у плоскій постановці (плоский деформований стан) необхідно розглянути ряд характерних перетинів для різних дільничних виробок і міжлавових ціликів та розв'язати задачу про визначення напружень навколо підземних виробок. Для цього використовується розв'язок плоскої задачі теорії пружності про напівскінченний важкий масив, обмежений землею поверхнею та послаблений виробкою.

Загалом форма поперечного перерізу горизонтальних виробок встановлюється відповідно до фізико-механічних властивостей порід, величини і напрямку гірничого тиску, терміну служби й прийнятої конструкції кріплення. Якщо виробка не кріпиться, то їй надається форма поперечного перерізу, яка наближається до форми склепіння природної рівноваги.

Задача про розподіл напружень навколо круглого отвору є задачею теорії пружності. Згадана задача (відома як узагальнена задача Кірша) може бути розв'язана методом Колосова-Мусхелішвілі за допомогою комплексних потенціалів $\phi(z)$ та $\psi(z)$, регулярних в області S , що повністю визначають стан пружного середовища за граничних умов за допомогою відомих формул Колосова-Мусхелішвілі. Добираючи відповідний вигляд відображальної функції одиничного кола на

контур виробки довільного перерізу, можна розв'язати задачу розподілу напружень в масиві, який моделюється лінійно-деформованим середовищем навколо виробки будь-якої форми поперечного перерізу.

У загальному вигляді алгоритм розрахунку НДС аналітичним методом відображений в роботі Н.С. Буличова [4]. Для визначення напружень навколо виробки використовується розв'язок плоскої задачі теорії пружності про напівнескінченний важкий масив (область S), обмежений земною поверхнею L та послаблений виробкою (контур L₁).

Шукані компоненти повних напружень в області S можуть бути представлені у вигляді суми двох доданків:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}; \\ \sigma_y &= \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)},\end{aligned}\quad (1)$$

де $\sigma_x^{(0)}, \sigma_y^{(0)}, \tau_{xy}^{(0)}$ – початкові напруження, які діяли в непорушеному масиві (до утворення виробки); $\sigma_x^{(1)}, \sigma_y^{(1)}, \tau_{xy}^{(1)}$ – додаткові («знімні») напруження, викликані утворенням виробки.

Компоненти повних та початкових напружень задовольняють системі диференціальних рівнянь рівноваги:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= \gamma; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

та умові сумісності деформацій:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}.\quad (3)$$

На відміну від повних напружень, компоненти додаткових напружень задовольняють однорідній системі диференціальних рівнянь рівноваги при тому ж рівнянні сумісності деформацій (3).

Граничні умови для повних напружень:

$$\sigma_x = 0, \tau_{xy} = 0 \text{ на } L;\quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned}\sigma_x \cos(n, x) + \tau_{xy} \cos(n, y) &= 0, \\ \tau_{xy} \cos(n, x) + \sigma_y \cos(n, y) &= 0\end{aligned} \right\} \text{ на } L_1.\quad (5)$$

Умови (4) відображають відсутність нормальних і дотичних напружень на земній поверхні. Умови (5) означають, що контур перерізу виробки вільний від напружень; (n, x) та (n, y) – це кути між нормаллю до контуру кругового вирізу та осями x та y.

Граничні умови для початкових напружень:

$$\sigma_x^{(0)} = 0; \tau_{xy}^{(0)} = 0 \text{ на } L\quad (6)$$

В якості частинного розв'язку неоднорідної системи рівнянь (2) можна взяти початкове поле напружень:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(0)} &= \gamma(x - H); \\ \sigma_y^{(0)} &= \lambda\gamma(x - H); \\ \tau_{xy}^{(0)} &= 0.\end{aligned}\quad (7)$$

Граничні умови для додаткових напружень на L:

$$\sigma_x^{(1)} \cos(n, x) + \tau_{xy}^{(1)} \cos(n, y) = -\gamma(x - H) \cos(n, x);\quad (8)$$

$$\tau_{xy}^{(1)} \cos(n, x) + \sigma_y^{(1)} \cos(n, y) = -\lambda\gamma(x - H) \cos(n, y) \text{ на } L_1.\quad (9)$$

Складові додаткових напружень перетворюються в нуль на нескінченності. У зв'язку з тим, що виробка перебуває на глибині $H > x$, величиною ординати X, порівняно зі значно більшою величиною H, можна знехтувати (зі строгого розв'язку задачі для півплощини з круговим отвором, отриманому Д. І. Шерманом, впли-

ває, що вплив вільної від напружень земної поверхні можна не враховувати вже при глибині $H \geq 5r_0$). Тоді умови на L₁ набувають вигляду:

$$\begin{aligned}\rho^{(1)} &= \sigma_x^{(1)} \cos(n, x) + \tau_{xy}^{(1)} \cos(n, y) = \gamma H \cos(n, x); \\ q^{(1)} &= \tau_{xy}^{(1)} \cos(n, x) + \sigma_y^{(1)} \cos(n, y) = \lambda\gamma H \cos(n, y)\end{aligned}\quad (10)$$

Розв'язання поставленої задачі зводиться до розв'язання однорідної системи диференціальних рівнянь рівноваги за умови сумісності деформацій та граничних умов.

Сформульована вище задача (задача про розподіл напружень навколо круглого отвору) є задачею теорії пружності. Згадана задача (відома як узагальнена задача Кірша) може бути розв'язана методом Колосова-Мусхелішвілі за допомогою комплексних потенціалів $\phi(z)$ та $\psi(z)$, регулярних в області S, що повністю визначають стан пружного середовища з граничних умов за допомогою відомих формул Колосова-Мусхелішвілі.

Ця задача простіше розв'язується за допомогою функції напружень, запропонованої в 1861 р. датським астрономом Ері (Airy):

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}.\quad (11)$$

Функція напружень в даному випадку може бути прийнята у вигляді:

$$\phi = (Ar^2 + Br^4 + Cr^{-2} + D) \cos 2\theta.\quad (12)$$

Сталі інтегрування A, B, C и D визначаються з граничних умов.

Нехтуючи проміжковими перетвореннями, наведемо остаточні формули для напружень (тут стискаючі напруження прийняті за додатні):

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \gamma H \left[\frac{1+\lambda}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) + \frac{1-\lambda}{2} \left(1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} - 4 \frac{r_0^2}{r^2} \right) \cos 2\theta \right]; \\ \sigma_\theta &= \gamma H \left[\frac{1+\lambda}{2} \left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) - \frac{1-\lambda}{2} \left(1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]; \\ \tau_{r\theta} &= -\gamma H \frac{1-\lambda}{2} \left(1 - 3 \frac{r_0^4}{r^4} + 2 \frac{r_0^2}{r^2} \right) \sin 2\theta.\end{aligned}\quad (13)$$

Для визначення потенційно небезпечних зон знаходимо за відомими формулами переходу всі компоненти напружень в декартовій системі координат

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \sigma_y \sin^2 \theta + \sigma_x \cos^2 \theta + \tau_{xy} \sin 2\theta; \\ \sigma_\theta &= \sigma_y \cos^2 \theta + \sigma_x \sin^2 \theta - \tau_{xy} \sin 2\theta; \\ \tau_{r\theta} &= \frac{(\sigma_y - \sigma_x)}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta.\end{aligned}$$

За компонентами напружень в декартовій системі координат обчислюємо девіатори напружень

$$s_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij}, \quad \text{де} \quad \sigma = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}}{3}, \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1, i=j \\ 0, i \neq j \end{cases},$$

$ij = 1, 2, 3$.

За компонентами девіаторів напружень обчислюємо вираз для інтенсивності дотичних напружень

$$T = \sqrt{\frac{1}{2} s_{ij} s_{ij}}.$$

В кожній точці досліджуваного тіла порівнюємо одержаний вираз для інтенсивності дотичних напружень із величиною T_y , де $T_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$, а σ_y – величина межі текучості розглядуваного матеріалу. В тих точках, де $T \geq T_y$, згідно із критерієм пластичності Губера-Мізеса, можливий розвиток пластичних деформацій. Таким чином,

геометричне місце точок, де виконується умова $T \geq T_y$, визначає конфігурацію потенційної зони пластичності.

Напруження в характерних точках зручно характеризувати безрозмірними величинами відношення цих напружень до початкових напружень в розглянутих точках. Такі величини називаються *коефіцієнтами концентрації напружень*.

З віддаленням від виробки напруження наближаються до своїх початкових значень, які існували в масиві до проведення виробки. А це значить, що прохідка виробки викликає перерозподіл напружень в масиві в певній обмеженій області, яка називається *зоною впливу виробки*.

Добираючи відповідний вигляд відображальної функції одиничного кола на контур виробки довільного перерізу, можна розв'язати задачу розподілу напружень в масиві, який моделюється лінійно-деформованим пружним середовищем навколо виробки будь-якої форми поперечного перерізу. Так, при

$$z = r \left(\zeta - \frac{1}{6} \zeta^{-3} \right) \quad (14)$$

ми отримуємо наближене конформне відображення контуру виробки квадратного перерізу з округленими кутами.

При існуючих формах поперечного перерізу гірничих виробок і тунелів різного призначення, з достатньою для практичних розрахунків точністю може бути використана відображальна функція вигляду:

$$z = \omega(\zeta) = \sum_{n=0}^5 a_n \zeta^{1-n}. \quad (15)$$

Таким чином, алгоритм обчислення напружень в пружному середовищі в околі виробки довільного перерізу буде представлений у такий спосіб:

1. Вихідними даними є величини $a_0, a_1, \dots, a_5$ – коефіцієнти відображальної функції, яка реалізує конформне відображення зовнішності одиничного кола на зовнішність контуру поперечного перерізу виробки; λ – коефіцієнт бокового тиску в непорушеному масиві.

2. Розрахунок напружень зводиться до виконання наступних операцій:

а) Визначаються величини:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{a_2}{a_0}; \quad q_2 = \frac{a_3}{a_0}; \quad q_3 = \frac{a_4}{a_0}; \quad q_4 = \frac{a_5}{a_0}; \\ h_1 &= q_1(1+q_3) + 2q_2q_4; \quad h_2 = q_2 + q_1q_4; \quad h_3 = q_3; \quad h_4 = q_4; \\ d_1 &= \frac{2(1-\lambda) - (1+\lambda)(h_1 + 2h_2q_4)}{1 - q_3 - 2q_4^2}; \quad d_2 = -(1+\lambda)h_2 + d_1q_4; \\ d_3 &= -(1+\lambda)q_3; \quad d_4 = -(1+\lambda)q_4; \\ A_1 &= d_1q_3 + 2d_2q_4; \quad A_2 = d_1q_4. \end{aligned} \quad (16)$$

б) При зміні криволінійних координат ρ та θ в межах $0 \leq \theta \leq \pi$; $1 \leq \rho \leq 5$ (значення ρ та θ послідовно змінюються з певним кроком), обчислюють величини:

$$\begin{aligned} c'_0 &= (\rho - \rho^{-1}) \cos \theta + \sum_{n=1}^4 q_n (\rho^{-n} - \rho^n) \cos n\theta; \\ c'_1 &= 1 - \sum_{n=1}^4 n q_n \rho^{-n-1} \cos(n+1)\theta; \\ c'_2 &= \sum_{n=1}^4 n(n+1) q_n \rho^{-n} \cos n\theta; \\ c'_3 &= -1 + \sum_{n=1}^4 n q_n \rho^{n+1} \cos(n+1)\theta; \\ a'_1 &= 1 + \lambda - \sum_{n=1}^4 n \rho^{-n-1} d_n \cos(n+1)\theta; \\ a'_2 &= \sum_{n=1}^4 n(n+1) \rho^{-n} d_n \cos n\theta; \end{aligned}$$

$$d'_0 = -(\rho - \rho^{-1}) \sin \theta + \sum_{n=1}^4 q_n (\rho^{-n} - \rho^n) \sin n\theta;$$

$$d'_1 = \sum_{n=1}^4 n q_n \rho^{-n-1} \sin(n+1)\theta;$$

$$d'_2 = -\sum_{n=1}^4 n(n+1) q_n \rho^{-n} \sin n\theta; \quad d'_3 = \sum_{n=1}^4 n q_n \rho^{n+1} \sin(n+1)\theta;$$

$$b'_1 = \sum_{n=1}^4 n \rho^{-n-1} d_n \sin(n+1)\theta; \quad b'_2 = -\sum_{n=1}^4 n(n+1) \rho^{-n} d_n \sin n\theta;$$

$$\begin{aligned} a'_3 &= \sum_{n=1}^4 n \rho^{n+1} A_n \cos(n+1)\theta - (1+\lambda) - (1+\lambda) \sum_{n=1}^4 n h_n \rho^{n+1} \cos(n+1)\theta + \\ &+ 2\rho^2(1-\lambda) \cos 2\theta; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b'_3 &= \sum_{n=1}^4 n \rho^{n+1} A_n \sin(n+1)\theta - (1+\lambda) \sum_{n=1}^4 n h_n \rho^{n+1} \sin(n+1)\theta + \\ &+ 2\rho^2(1-\lambda) \sin 2\theta; \end{aligned}$$

$$A'_1 = a'_2 c'_1 - a'_1 c'_2 - b'_2 d'_1 + b'_1 d'_2; \quad B'_1 = a'_2 d'_1 - a'_1 d'_2 + b'_2 c'_1 - b'_1 c'_2;$$

$$C'_1 = c'_3 (c'_1 a'_1 - d'_1 b'_1) - d'_3 (c'_1 b'_1 + d'_1 a'_1) + a'_3 [(c'_1)^2 - (d'_1)^2] - 2c'_1 d'_1 b'_3;$$

$$D'_1 = c'_3 (c'_1 b'_1 + d'_1 a'_1) + d'_3 (c'_1 a'_1 - d'_1 b'_1) + b'_3 [(c'_1)^2 - (d'_1)^2] + 2c'_1 d'_1 a'_3;$$

$$A'' = c'_0 A'_1 - d'_0 B'_1 - C'_1; \quad B'' = c'_0 B'_1 + d'_0 A'_1 - D'_1.$$

в) Визначаються (при кожному значенні ρ і θ) напруження в пружній площині від одиничного навантаження за формулами:

$$\tilde{\sigma}_\rho = \frac{2\rho^2 [(c'_1)^2 + (d'_1)^2] (c'_1 a'_1 + d'_1 b'_1) - (c'_1 A'' + d'_1 B'')}{4\rho^2 [(c'_1)^2 + (d'_1)^2]^2};$$

$$\tilde{\sigma}_\theta = \frac{2\rho^2 [(c'_1)^2 + (d'_1)^2] (c'_1 a'_1 + d'_1 b'_1) + (c'_1 A'' + d'_1 B'')}{4\rho^2 [(c'_1)^2 + (d'_1)^2]^2};$$

$$\tilde{\tau}_{\rho\theta} = \frac{c'_1 B'' - d'_1 A''}{4\rho^2 [(c'_1)^2 + (d'_1)^2]^2}.$$

Моделювання алгоритму розрахунку НДС на основі графічних нотацій. В загальному вигляді графічна нотація - це спосіб представлення алгоритму (архітектури, поведінки, структури) комп'ютерної програми в графічній формі. Дана форма може бути зведена до графа і розглядатися з позиції теорії графів. Формально, граф-схема алгоритму (ГСА) - кінцевий зв'язний орієнтований граф $G = \langle A, V \rangle$, вершини якого

$a_i \in A, i = \overline{1, N}$ відповідають операторам, а дуги $v_k = (a_i, a_j) \in V, k = \overline{1, M}, i, j = \overline{1, M}$ задають порядок проходження вершин (операторів) алгоритму, де $N = |A|$ — число вершин графа, $M = |V|$ — число дуг.

У більш широкому сенсі вершинам графа відповідають не тільки операторні вершини, а й умовні, початкова та кінцева вершини і т.д.

За допомогою графічної нотації ДРАКОН [11] було проведено графічне моделювання алгоритму аналітичного розрахунку напружено-деформованого стану фрагменту однорідного геологічного масиву з виробкою довільної форми. Результати графічного моделювання представлені на рис. 1.

Програмна реалізація. Даний алгоритм був описаний мовою програмування Object Pascal.

Для суто математичних покрокових обчислень був створений клас TNDSCalculator, де зберігаються вихідні дані, такі як коефіцієнти відображальної функції, коефіцієнт бічного тиску в непорушеному середовищі тощо,

як результат виводяться ізолінії напружень навколо виробки (Рис.2):

На вкладці Picture будується конформне відображення зовнішності одиничного кола на зовнішність кон-

туру поперечного перерізу виробки. Фігура контура задається коефіцієнтами відображальної функції $a_0, a_1, \dots, a_5$ (Рис. 3):

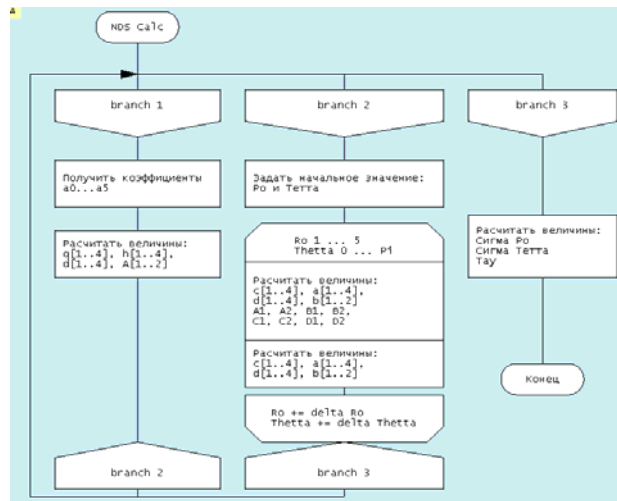


Рис. 1. Графічне моделювання алгоритму аналітичного розрахунку напружено-деформованого стану фрагменту однорідного геологічного масиву з виробкою довільної форми

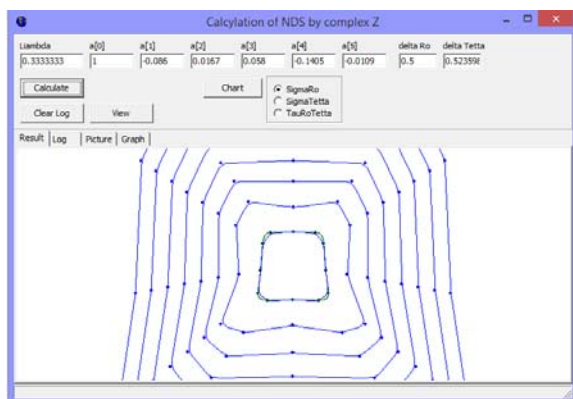


Рис. 2. Візуалізація ізоліній напружень

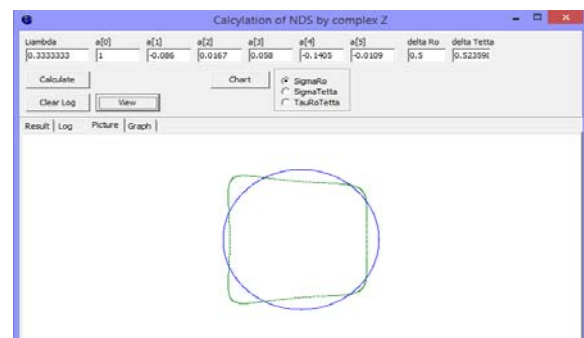


Рис. 3. Візуалізація фігури контуру поперечного перерізу виробки

На вкладці Graph будуються графіки залежності напружень σ_θ , σ_r , $\tau_{r\theta}$ від радіуса r та кута θ (Рис. 4).

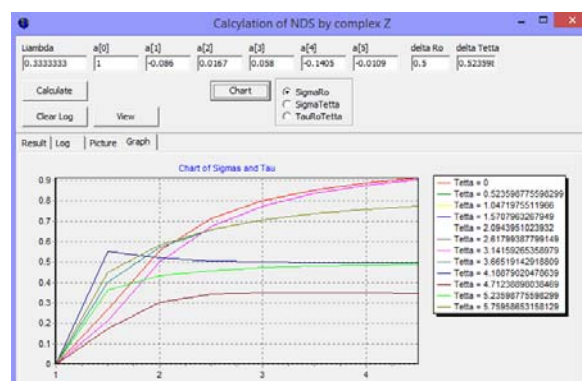


Рис. 4. Побудова графіку залежності напружень σ_θ , σ_r , $\tau_{r\theta}$ від радіуса r та кута θ

Верифікація програмної реалізації алгоритму. Для перевірки даної методики було взято розрахунок, наведений у публікації [4]. Додатково було змодельовано коефіцієнти комплексного полінома, що задає форму

виробки, із використанням пакету MathCAD. Результати даного моделювання представлені нижче:

1. Визначення коефіцієнтів комплексного полінома для трапецієподібного контура (Рис.5) (згідно підходу Бойма):

$$a_0 = -0.009, a_1 = 0.167, a_2 = 0.058, a_3 = -0.141, a_4 = -0.011, a_5 = 0, N = 15, \theta = 0, \frac{1}{N} \dots 2\pi,$$

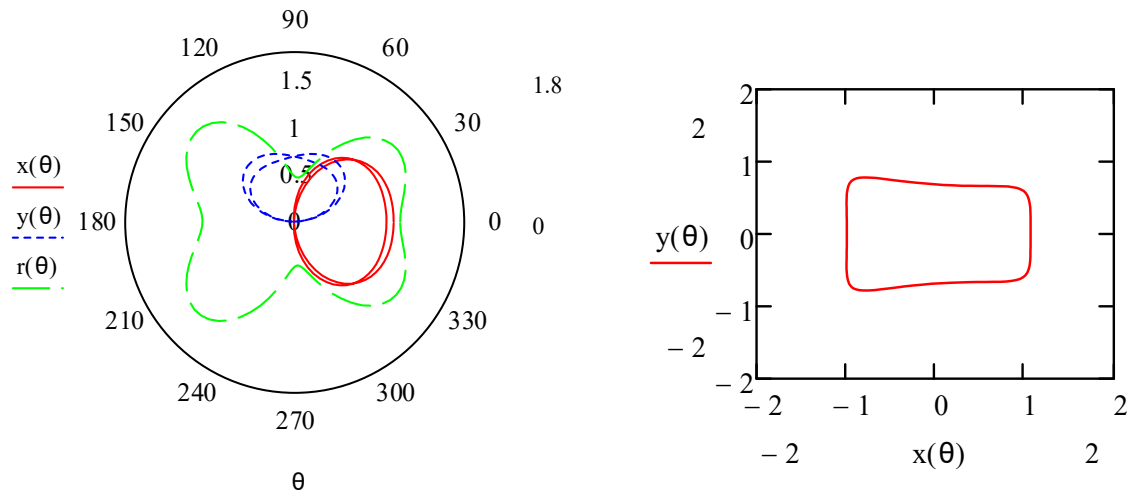


Рис. 5. Визначення параметрів напружень у межах трапецієподібного контура

$$x(\theta) = (1 + a_1) \cdot \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta) + a_4 \cdot \cos(4\theta) + a_5 \cdot \cos(5\theta) + a_0$$

$$y(\theta) = (1 - a_1) \cdot \sin(\theta) - a_2 \cdot \sin(2\theta) - a_3 \cdot \sin(3\theta) - a_4 \cdot \sin(4\theta) - a_5 \cdot \sin(5\theta)$$

$$r(\theta) = x(\theta) \cdot x(\theta) + y(\theta) \cdot y(\theta)$$

Визначення коефіцієнтів комплексного полінома для контура у формі склепіння (Рис. 6):

$$a_1 = 0.142, a_2 = 0.067, a_3 = -0.101, a_4 = 0.039, a_5 = 0.00, \theta = 0, \frac{1}{N} \cdot 2\pi$$

$$a_1 := 0.14153 = 0.142$$

$$x(\theta) = (1 + a_1) \cdot \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta) + a_4 \cdot \cos(4\theta) + a_5 \cdot \cos(5\theta)$$

$$y(\theta) = (1 - a_1) \cdot \sin(\theta) - a_2 \cdot \sin(2\theta) - a_3 \cdot \sin(3\theta) - a_4 \cdot \sin(4\theta) - a_5 \cdot \sin(5\theta)$$

$$r(\theta) = x(\theta) \cdot x(\theta) + y(\theta) \cdot y(\theta)$$

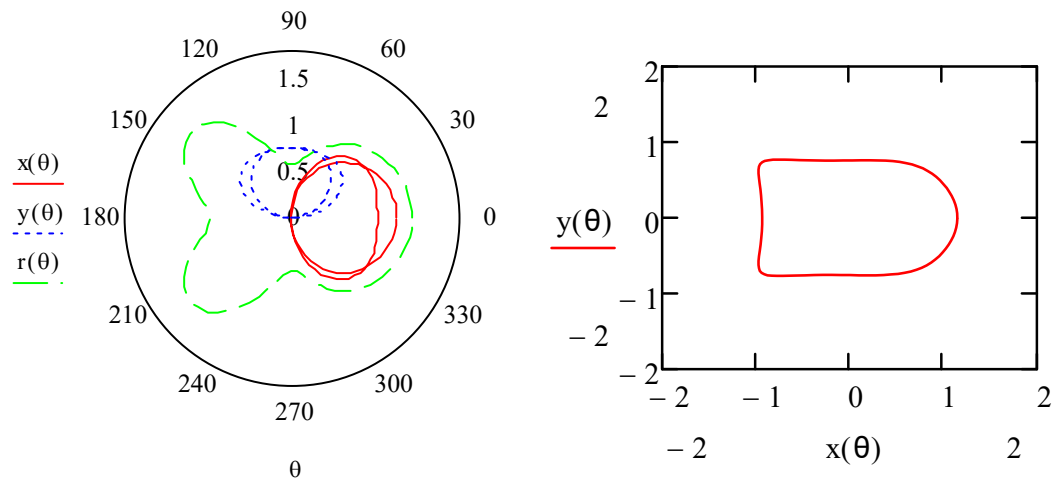


Рис. 6. Визначення параметрів напружень навколо контура у формі склепіння

Визначення коефіцієнтів комплексного полінома для контура у формі півкруга (Рис. 7):

$$a_1 = -0.313, a_2 = -0.156, a_3 = -0.051, a_4 = 1.95 \times 10^{-3}, a_5 = 0, N = 15,$$

$$x(\theta) = (1 + a_1) \cdot \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta) + a_4 \cdot \cos(4\theta) + a_5 \cdot \cos(5\theta)$$

$$y(\theta) = (1 - a_1) \cdot \sin(\theta) - a_2 \cdot \sin(2\theta) - a_3 \cdot \sin(3\theta) - a_4 \cdot \sin(4\theta) - a_5 \cdot \sin(5\theta)$$

$$r(\theta) = x(\theta) \cdot x(\theta) + y(\theta) \cdot y(\theta)$$

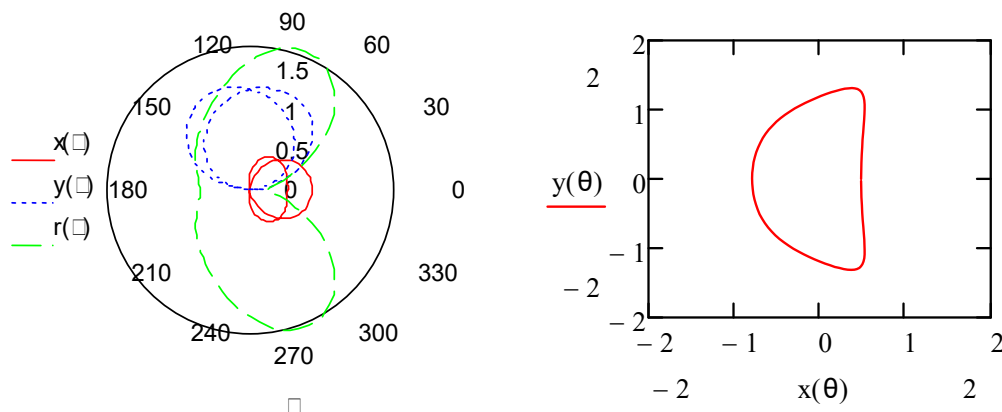


Рис. 7. Визначення параметрів напружень навколо контура у формі напівкруга

Розроблений програмний комплекс забезпечує результати розрахунку НДС навколо виробки довільної форми.

Висновки. Дослідження НДС техногенно зміненого масиву гірських порід при розробці пластових вугільних родовищ найбільш доцільно проводити методами механіки суцільного середовища, які базуються як на аналітичних та чисельних рішеннях, так і на даних натурних і лабораторних експериментів. Аналітичні рішення надають можливість проводити найменш "затратні" експерименти при широкому діапазоні як головних чинників, так і їх величин, однак їх точність залежить від повноти врахування факторів. При моделюванні відпрацювання вугільних пластів у плоскій постановці (плоский деформований стан) розглянуто характерні перетини для різних дільничних виробок. Розглянуто алгоритм розрахунку НДС аналітичним методом. Для визначення напружень навколо виробки використовується розв'язок плоскої задачі теорії пружності про напівнескінченний масив, обмежений земною поверхнею та послаблений виробкою. Визначено критерії правильності розв'язку, які встановлюються шляхом перевірки граничних умов. З метою розв'язку задачі про розподіл напружень в масиві, який моделюється лінійно-деформованим середовищем навколо виробки будь-якої форми поперечного перерізу, визначено відповідний вигляд відображальної функції одиничного кола на контур виробки довільного перерізу.

Список використаних джерел

1. Billuax D. FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics / D. Billuax, X. Rachez – Lyon: Second international FLAC symposium, 29-31 October 2001.
2. Бокий Б.В. Технология, механизация и организация проведения горных выработок / Б.В. Бокий, Е.А. Зими́на, В.В. Смирняков, О.В. Тимофеев. – М.: Недра, 1983. – 264 с.
3. Борисов А.А. Расчеты опорного давления при плавном опускании кровли / А.А. Борисов, Н.Н. Кайдалов, В.Г. Лабазин // Изв. ВУЗов. – Горный журнал, 1977. – №10. – С. 23-27.
4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
5. Глушихин Ф. П. Моделирование в геомеханике / Ф. П. Глушихин, Г. Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. // М.: Недра, 1991. – 240 с.
6. Господариков А.П. Алгоритм расчета слоистого массива для прогноза напряженного состояния кровли и угольного пласта в зоне очистных работ / А.П. Господариков, С.В. Васильев, М.А. Зацепин // Записки Горного института. – СПб. 2003. – Т.155 (1). – С.47-49.
7. Господариков А.П. Алгоритм численного решения нелинейных краевых задач геомеханики / А.П. Господариков // Известия Тульского государственного университета. Серия "Экология и безопасность жизнедеятельности". – 1999. – Вып. 5. – С. 128-134.

8. Господариков А.П. Математическое моделирование геомеханического состояния слоистого неоднородного массива при разработке пологих пластовых месторождений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11 / А. П. Господариков. – СПб, 1999. – 43 с.

9. Зильбершmidt В.Г. Исследование технологической трещиноватости массива междукламерного целика / В.Г. Зильбершmidt, С.А. Непримеров // Разработка калийных месторождений: межвузовский сб. науч. трудов. – Пермь, 1984. – С.68-70.

10. Каспар'ян, Э.В. Геомеханика : метод. пособие / Э.В. Каспар'ян, А.А. Козырев, М.А. Иофис, А.Б. Макаров. – М.: Высшая школа, 2006. – 503 с.

11. Паронджанов В.Д. Графический синтаксис языка ДРАКОН / В.Д. Паронджанов // Программирование. – 1995. – № 3. – С. 45-62.

12. Ставрогин А.Н. Механика деформирования и разрушения горных пород / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. – М.: Недра, 1992. – 224 с.

13. Шевчук В. Тектонофізичні основи структурного аналізу / В. Шевчук, І. Кузь, А. Юрчишин // Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2002. – 124 с.

References

1. Billuax, D., Rachez X. (2001). FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics. Lyon: Second international FLAC symposium, 29-31 October.
2. Bokij, B.V., Zimina, E.A. et al. (1983). Technology, mechanization and organization of mining. M.: Nedra, 264 p. [in Russian].
3. Borisov, A.A., Kaidalov, N.N. et al. (1977). Calculation of bearing pressure for smooth roof-lowering. Izv. VUZov. – Gornyj zhurnal, 10, 23-27. [in Russian].
4. Bulychev, N.S. (1982). Mechanics of the underground facility. M.: Nedra, 270 p. [in Russian].
5. Glushihin, F. P., Kuznetsov, G.N. et al. (1991). Modeling in Mechanics. M.: Nedra, 240 p. [in Russian].
6. Gospodarikov, A.P., Vasilev, S.V. et al. (2003). Calculation algorithm of the tabular array for the prediction stress condition in handing layer and coal seam on the coal face work zone. Records of Mining Institute. SPb, 155 (1), 47-49. [in Russian].
7. Gospodarikov, A.P. (1999). Numerical algorithm of the nonlinear boundary equations in geomechanics. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija "Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti", 5, 128-134. [in Russian].
8. Gospodarikov, A. P. (1999). Mathematical modeling of the geomechanical condition of bedded solid mass in the development of the stratified deposits: avtoref. diss. ... d-ra tehn. nauk: 05.15.11, SPb, 43 p. [in Russian].
9. Zil'bershmidt, V.G., Neprimerov S.A. (1984). Fracture characterization of the interchamber pillar system. Razrabotka kalijnyh mestorozhdenij: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Perm, 68-70. [in Russian].
10. Kaspar'jan, Je.V., Kozyrev, A.A. et al. (2003). Geomechanics: study guide. M.: Vyssh. shkola, 503 p. [in Russian].
11. Parondzhanov, V. D. (1995). Graphic syntax of the ssn DRAKON. Programming, 3, 45-62. [in Russian].
12. Stavrogin, A.N. (1992). Mechanics of rock deformation and destruction. M.: Nedra, 224 p. [in Russian].
13. Shevchuk, V. (2002). Tectonophysics basics of structural analysis. Lviv: LNU im. Ivana Franka, 124 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 19.12.16

V. Shevchuk, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.

E-mail: svgeol@yandex.ua,

O. Ivanik, DSc (Geology), Prof.

E-mail: om.ivanik@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

M. Lavrenyuk, Dcs (physics and mathematics)

E-mail: mykolalav@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Faculty of Mechanics and Mathematics, 4e Acad. Glushkov Bul., Kyiv, 03127, Ukraine,

M. Saveliev

E-mail: ms@slavutych.city

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the Ukraine National Academy of Science

42 Acad. Glushkov Bul., Kyiv, 03187, Ukraine

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND SOFTWARE COMPONENTS FOR MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS DURING COAL DEPOSITS EXPLORATION

Studies of the stress-strain state of technologically modified rock mass with the exploration of coal deposits are carried out by the methods of continuum mechanics, based both on analytical solutions and data of field and laboratory experiments. Analytical solutions provide the ability to do the least costly experiments in a wide range of important factors and environmental parameters. The consideration is given to the algorithm and programme module for the simulation of the stress-strain state of coal-bearing strata. The model of homogeneous elastic solid massive is considered as a base model. Developing of basic schemes was carried out for conditions of plane strain. Rock massive with the layer is modeled as a homogeneous transversely isotropic body. Criteria solutions are established by checking of boundary conditions. In order to solve the task of the distribution of stresses in the rock massive, which is modeled as a linear deformable environment around the excavation of any cross-sectional shape, the appropriate type of the unit disk functions was determined. The graphical modeling of the analytical algorithm calculated the stress-strain state of the geological massif with the excavation of any shape was carried out. The software application of the developed algorithm is presented.

Keywords: stress-strain state, coal layer, algorithm, simulation, software implementation.

В. Шевчук, д-р геол.-мин. наук, проф.

E-mail: svgeol@yandex.ua,

Е. Иваник, д-р геол. наук, доц.

E-mail: om.ivanik@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна,

М. Лавренюк, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: mykolalav@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Механіко-математический факультет, просп. Академіка Глушкова, 4е, г. Київ, 03127, Україна,

М. Савельєв

E-mail: ms@slavutych.city

Інститут проблем математических машин и систем НАНУ

просп. Академіка Глушкова, 42, г. Київ, 03187, Україна

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Исследования напряженно-деформированного состояния техногенно измененного массива горных пород при разработке пластовых угольных месторождений целесообразно проводить методами механики сплошных сред, базирующихся как на аналитических решениях, так и на данных натурных и лабораторных экспериментов. Аналитические решения предоставляют возможность осуществлять наименее "затратные" эксперименты в широком диапазоне главных факторов и параметров среды. В статье представлен алгоритм и программная реализация моделирования напряженно-деформированного состояния пластового угленосного массива. В качестве базовой модели принята модель однородного упругого массива. Построение расчетных схем выполнено для условий плоского деформированного состояния. Массив горных пород, вмещающий пласт, моделируется как однородный трансверсально-изотропный массив. Определены критерии правильности решения, установленные путем проверки граничных условий. С целью решения задачи о распределении напряжений в массиве, который моделируется как линейно-деформируемая среда вокруг выработки любой формы поперечного сечения, определен соответствующий вид отображающей функции единичного круга на контур выработки произвольного сечения. Выполнено графическое моделирование алгоритма аналитического расчета напряженно-деформированного состояния геологического массива с выработкой произвольной формы. Представлена программная реализация разработанного алгоритма.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, угольный пласт, алгоритм, моделирование, программная реализация.

УДК 550.3 (519.21)

Z. Vyzhva, Prof.
E-mail: zoya_vyzhva@ukr.net,V. Demidov, Assoc. Prof.
E-mail: fondad@ukr.netTaras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,A. Vyzhva, researcher
E-mail: motomustanger@ukr.net
SE "Naykanafto-gaz", Kyiv, Ukraine,K. Fedorenko, postgraduate student
E-mail: slims_mentol@mail.ru
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv 03022, Ukraine

STATISTICAL SIMULATION OF 2D RANDOM FIELD WITH CAUCHY CORRELATION FUNCTION IN THE GEOPHYSICS PROBLEM OF ENVIRONMENT MONITORING

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

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 average density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement of the Cauchy type correlation function.

This paper analyses the method and the model and procedure were developed with enough adequate data for Cauchy function.

The method 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 average density chalk strata distribution was built in the plane and statistical simulation algorithm was developed using Cauchy function on the basis of 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 its adequacy.

Keywords: Statistical simulation, function Cauchy, spectral decomposition, conditional maps.

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 average density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement of the Cauchy type correlation function.

In this paper the method is used and the model and procedure were developed with enough adequate data for Cauchy function.

The method 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 average density chalk strata distribution was built in the plane and statistical simulation algorithm was developed using Cauchy function on the basis of 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 its adequacy was tested.

Introduction. 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.

When monitoring 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.

Scientists Mantoglov A., Wilson John L. [8], Oliver, D. S. [9], Chiles J.P. and Delfiner P. [1], Prigarin, S. M. [10], Gneiting T. [3,4] and other researchers used statistical simulation techniques to solve geological problems over the past decade.

The Department of Geophysics at Institute of Geology and involved experts from Mechanics and Mathematics Faculty of Kyiv National Taras Shevchenko University in recent years developed theoretical and methodological application basics of statistical simulation in the development of geological environment monitoring.

Theoretical aspects of statistical simulation use to solve problems in the work of Geophysics were considered by Yadrenko M., Vyzhva Z. [2, 11]. Practical testing on real data of chalky strata density on the territory of the Rivne NPP was carried out for the fields on the plane by Vyzhva Z.O., Vyzhva S.A., Demidov V. K. [6], but with use of Bessel correlation function. In this paper the method is used and the model and procedure were developed with enough adequate data for Cauchy function.

Problem of karst-suffusion phenomena monitoring at Rivne NPP area. 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. Soil density was determined by gamma-gamma well logging, soil humidity – by neutron-neutron logging.

In this case 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.

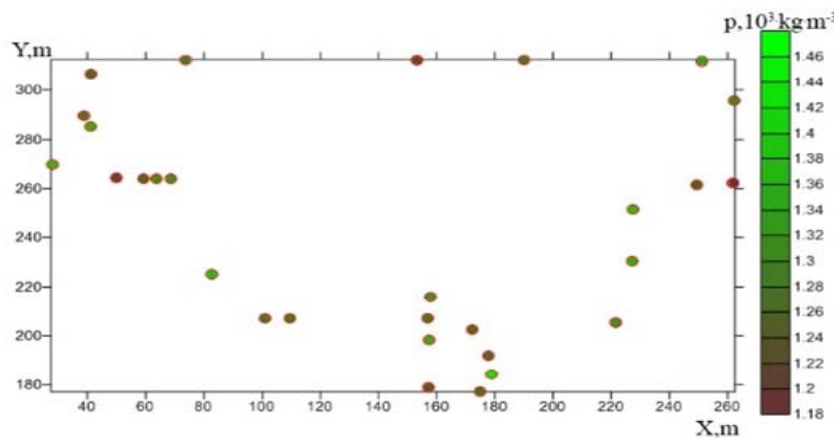


Fig.1. Observation points and chalk strata averaged density at industrial area of Rivne NPP

This problem was solved in work [5] 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 average density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement of the Bessel type correlation function.

This work continues development of methods for statistical simulation, involving Cauchy correlation function that is well-known in Geostatistics [1,3].

Before using developed mathematical tools to radioisotope research real data of soil density at the observation area their preliminary preparation and statistical analysis was carried out.

At the data preparation stage the measurement errors were excluded (for the operator, the equipment, observation conditions, etc.). With this purpose the following things were made:

- Firstly, the top layer was rejected (about 10 meters), as it consists of mixed bulk soil;
- Secondly, well data were aggregated for the different years to the average, which was calculated for three years in anchor wells (the reference loam layer was selected that lies above the chalk layer). For loam layer the average value for three years was calculated and then the corresponding corrections were put into data with a "+" or "-" sign. Such processing was done by STATISTICA software.

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.

The method of solving the problem. Data of density chalky strata was divided 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 was reduced to simulation of random component $\xi(\bar{x})$, which in most cases is a homogeneous and isotropic.

Consider the same approach as in [2, 6, 7]. 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 have distribution density with approximately Gaussian type, then procedure can be used, which is developed in [2, 6, 7], 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.

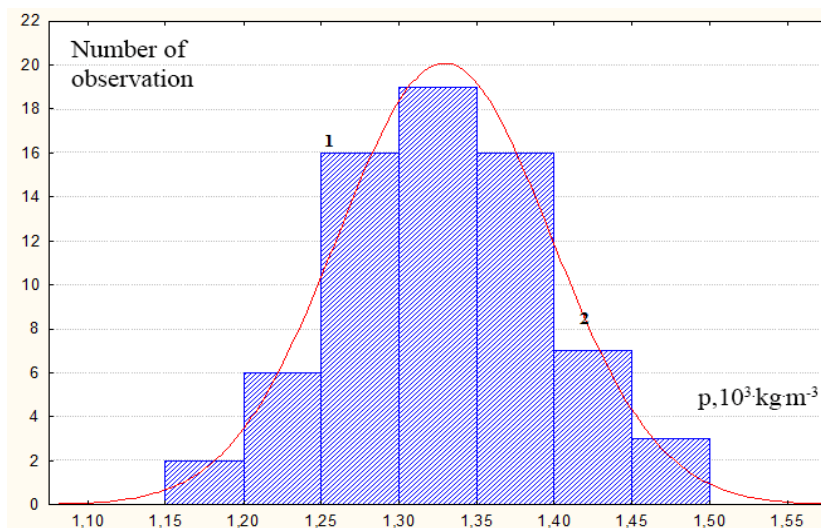


Fig.2. Histogram of the chalky strata density (averaged data for all years of observation):
1 – the number of observations in a separate range of density; 2 – theoretical Gaussian curve

Then the statistical model was 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 two types of correlation functions: the Bessel function (1) at the value of parameter $a=5$ and the Cauchy function (2) at the value of parameter $a=1$:

$$B(\rho) = J_0(a\rho), \quad a = 5; \quad (1)$$

$$B(\rho) = \frac{a^4}{(a^2 + \rho^2)^2}, \quad a = 1. \quad (2)$$

The variogram of input data of chalky strata density, corresponding to the Cauchy correlation function (2), was built by using the R software and geoR package. The plot was presented at Figure 3, according to the Cauchy correlation function (2) variogram of the random component of investigation data.

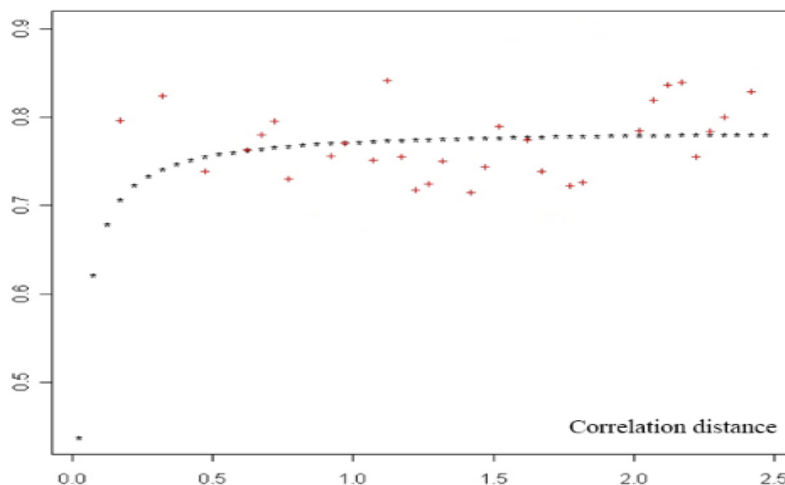


Fig.3. Variogram of input data of the chalky strata,
that corresponding to the Cauchy correlation function $B(\rho) = \frac{a^4}{(a^2 + \rho^2)^2}$, $a = 1$

Note that the generalized Cauchy model is:

$$B(\rho) = \left(1 + \frac{\rho^2}{a^2}\right)^{-\nu}, \quad \nu > 0, \quad a > 0. \quad (3)$$

The generalized Cauchy model (3) was studied by A. M. Yaglom [12]. T. Gneiting [3] who considered the Cauchy function at the values of the parameter $\nu = 1/2, 3/2, 5/2, 7/2$.

Graphic representations of the Cauchy function at different values of parameters ν and at $a = 1$ are presented in Fig. 4.

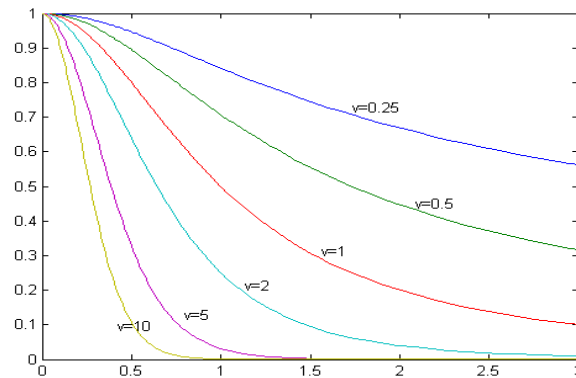


Fig.4. The Cauchy function at parameter values $a = 1$ and $v = 0.25, 0.5, 1, 2, 5$ and 10

Let us find the spectral density, which corresponds to the Cauchy correlation function (2), by using the formula

6.565 (4) and 8.486 (16) [5]. Formula 6.565 (4) is mentioned below as:

$$\int_0^{\infty} \frac{J_{\nu}(bx)x^{\nu+1}}{(a^2+x^2)^{\mu+1}} dx = \frac{a^{\nu-\mu}b^{\mu}}{2^{\mu}\Gamma(\mu+1)} K_{\nu-\mu}(ab), a > 0, b > 0, \operatorname{Re} \nu < \operatorname{Re}(2\mu+3/2).$$

and the ratio 8.486 (16) is written as follows:

$$K_{-\nu}(z) = K_{\nu}(z).$$

Then such spectral density is calculated by conducting the following formula:

$$f(\lambda) = \lambda \int_0^{\infty} x J_0(\lambda x) B(x) dx = \lambda \int_0^{\infty} x J_0(\lambda x) \frac{a^4}{(a^2+x^2)^2} dx,$$

Thus the spectral density, which is corresponding to the Cauchy correlation function (2), is:

$$f(\lambda) = \frac{1}{2} a^3 \lambda^2 K_1(a\lambda), \quad (4)$$

where $K_1(x)$ is a modified Hankel function of order 1.

The spectral coefficients, which, according to such correlation function, are determined by calculating the integral:

$$b_k(r) = 2 \int_0^{\infty} J_k^2(ru) d\Phi(u) = a^2 \int_0^{\infty} u^2 J_k^2(ru) K_1(au) du = 2 \frac{r^{2k}(1+k)}{a^{2k}} F_4 \left(1+k, 2+k; k+1, k+1; -\frac{r^2}{a^2}, -\frac{r^2}{a^2} \right).$$

Thus the spectral coefficients, that correspond to the Cauchy correlation function (2), are written as follow:

$$b_k(r) = \frac{2^{1+2k} r^{2k} a}{(a + \sqrt{a^2 + 4r^2})^{2k}} \frac{(a^2 + 2r^2 + ak\sqrt{a^2 + 4r^2})}{(a^2 + 4r^2)^{3/2}}. \quad (5)$$

These spectral coefficients are calculated by Mathematica software.

The model of 2D random field with Cauchy correlation function and the numerical simulation procedure. The realizations of 2D random field with Cauchy correlation function (3) at the values of parameters $a=1$ are generated. The statistical simulation was performed by the technique of spectral decomposition and finding of spectral coefficients.

From the spectral theory [11] it follows that the model of random fields on a plane with such correlation function is a sum of:

$$\xi_N(r, \phi) = \sum_{k=0}^N \sqrt{v_k} b_k(r) [\zeta_k(r) \cos k\phi + \eta_k(r) \sin k\phi], \quad (6)$$

$$\text{where: } v_k = \begin{cases} 1, & k=0; \\ 2, & k>0, \end{cases}$$

– r and ϕ ($r \in \mathbb{R}_+$, $\phi \in [0, 2\pi]$) are polar coordinates of the point x on the plane (includes observation area), and the distance ρ between the points $x_1 = (r_1, \phi_1)$ and

$x_2 = (r_2, \phi_2)$ equals $\rho = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)}$,

– 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 [2], which is the estimate of the mean square approximation of random field $\xi(r, \phi)$ by partial sums $\xi_N(r, \phi)$;

– $b_k(r)$, ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) are the spectral coefficients in form of (5), which correspond to the Cauchy correlation function (2);

– $J_k(x)$ is the Bessel function of the first kind of order k , the parameter a has the same value as the correlation function ($a \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$).

The procedure of numerical simulation realizations of the data field random component, by means of the above-mentioned model (6), was conducted by using the Spectr 2.1 software, which is described in [6].

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 $\xi(r, \phi)$ by partial sums $\xi_N(r, \phi)$. This number N corresponds to the prescribed small number ε (approximation accuracy). The mentioned inequality was obtained in work [1] and in form of:

$$M [\xi(r, \phi) - \xi_N(r, \phi)]^2 \leq \frac{1}{\pi N} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right), \quad (7)$$

$$\text{where } \mu_k = \int_0^{\infty} \lambda^k d\Phi(\lambda).$$

Define dependence number N on r and ε in the case of Cauchy correlation function (3). It is necessary to calculate the values of μ_k , $k=1, 2$ for the inequality (7), by using the density of distribution (4) and the following formula 6.561(16) [5]:

$$\int_0^{\infty} x^{\mu} K_{\nu}(ax) dx = 2^{\mu-1} a^{-\mu-1} \Gamma\left(\frac{1+\mu+\nu}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1+\mu-\nu}{2}\right).$$

Then the calculated values hold:

$$\mu_1 = \frac{a^3}{2} \int_0^\infty \lambda^3 K_1(a\lambda) d\lambda = \frac{3\pi}{4a}, \quad \mu_2 = \frac{a^3}{2} \int_0^\infty \lambda^4 K_1(a\lambda) d\lambda = \frac{8}{a^2}.$$

Consequently the estimate of the mean square approximation of the random field $\xi(r, \varphi)$ with Cauchy correlation function (3) by the partial sums $\xi_N(r, \varphi)$ has the following representation:

$$N(r, \varepsilon) \geq \frac{1}{\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right) = \frac{1}{\pi\varepsilon} \left(\frac{3r\pi}{8a} + \frac{8r^2}{a^2} \right) \quad (8)$$

The statistical simulation procedure of Gaussian homogeneous isotropic random field $\xi(r, \varphi)$ on the plane was built by means of the model (6) and the estimate (8). This random field is determined by its statistical characteristics: the mathematical expectation and the Cauchy correlation function $B(\rho)$ (3) at the value of parameter $a=1$.

Procedure:

1) The positive integer number N is determined corresponding to the prescribed accuracy ε and by using inequality (8), 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 $\varepsilon=5 \times 10^{-2}$ and values of parameters $\nu=2$, $a=1$.

2) We calculated the spectral coefficients at the value of parameter $a=1$:

$$b_k(r) = \frac{2^{1+2k} r^{2k}}{(1 + \sqrt{1 + 4r^2})^{2k}} \frac{(1 + 2r^2 + k\sqrt{1 + 4r^2})}{(1 + 4r^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

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 evaluate the expression (6) by substituting in it values which were found in the previous steps $\varphi_i = i \times \frac{2\pi}{10}$, $i=0, \dots, 9$, $r_i = 0.1 \times i$, $i=1, \dots, 10$.

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 correlation function at $a=1$ 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 law.

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 Delphi, where selected Cauchy correlation function (2) was used.

The results, which were obtained by the simulating procedure, are displayed in Figure 5. Figure 5 (a) presents an example of constructed map of chalky strata density according to data boreholes observations (average data over the years to 29 boreholes at 28 m) by Surfer software. Using available data, the accuracy of this construction cannot provide a reliable characteristic of the chalky strata status, because the number of measurement results is not sufficient.

Fig. 5 (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. 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.

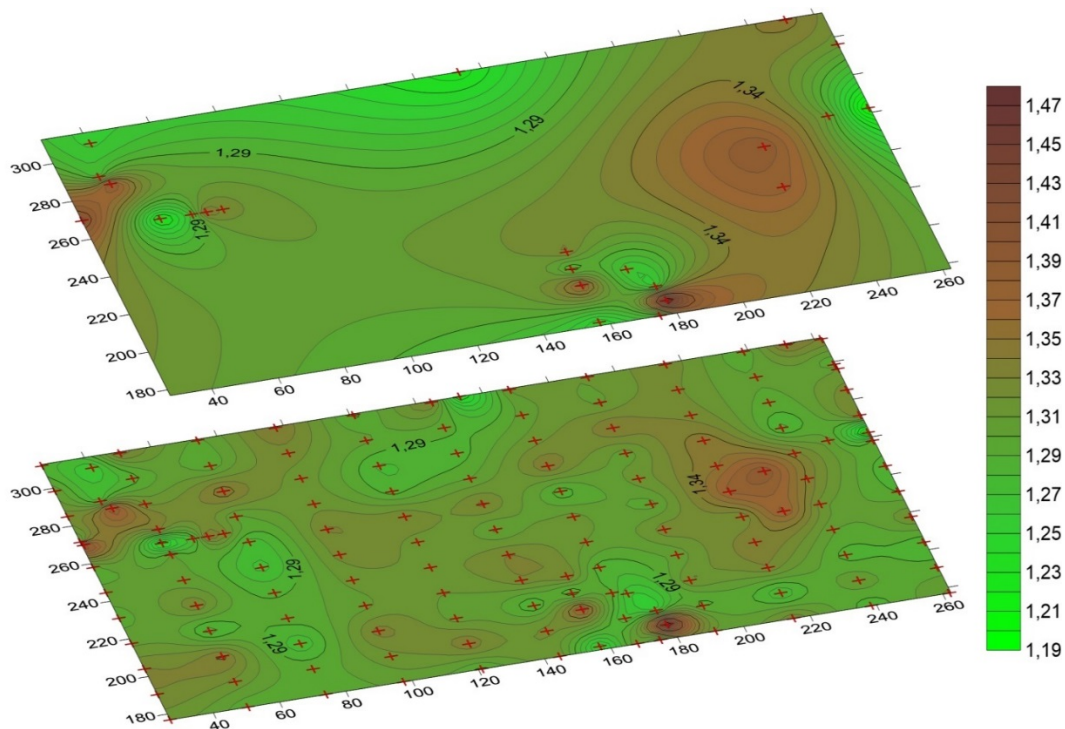


Fig. 5. The distribution of chalky strata density on the industrial area of Rivne nuclear power plant at a depth of 28 m. from the surface, according to the average data of 29 observational boreholes over 1984-2004 years.

(a) for the simulated data based on the values in secure boreholes by spectral coefficients (b)

The following Fig. 6 presents the plot of the variogram of the separated random data component of chalky strata density according to Cauchy correlation functions (2)

(Fig. 6, (a)) and plot of the variogram of the simulated random data component according to Cauchy correlation functions (2) (Fig. 6, (b)).

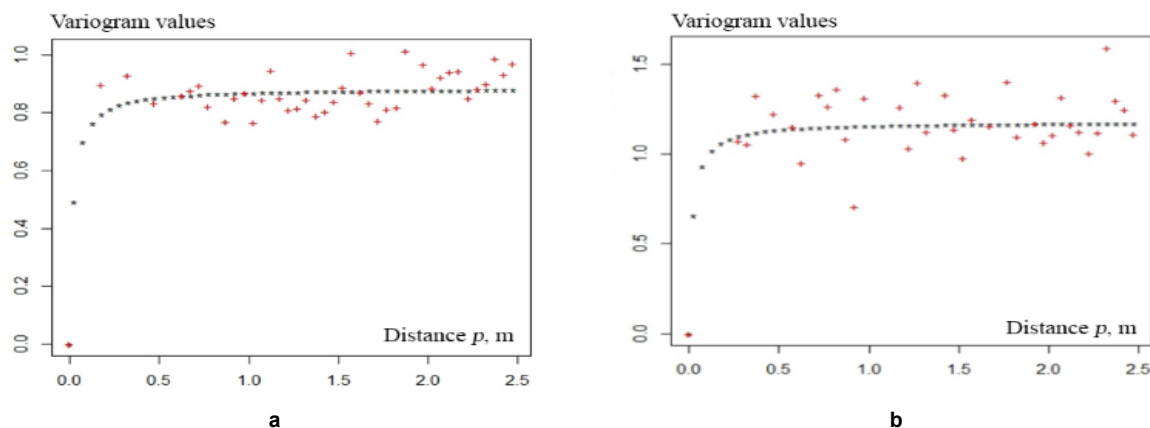


Fig. 6. The variogram (a) of separated random data component of the chalky strata density,

corresponding to Cauchy correlation function $B(\rho) = \frac{a^4}{(a^2 + \rho^2)^2}$, $a = 1$;

(b) of simulated random data component, corresponding to Cauchy correlation function $B(\rho) = \frac{a^4}{(a^2 + \rho^2)^2}$, $a = 1$

The results present that the chosen model of the data is rather adequate. The developed Spectr2_1 software works with sufficient accuracy.

Conclusions. The theory, techniques and procedure of statistical simulation of 2D random fields 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 anchor observation grid and beyond, and to adequately describe real geological processes.

The method of statistical simulation of random fields with Cauchy correlation functions allows complementing the data with a given accuracy. It can also be used to detect abnormal areas.

Список використаних джерел

- Chiles J.P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty / J.P. Chiles, P. Delfiner. – New York, Toronto, JohnWiley&Sons, Inc., 1999. – 695 p.
- Grikh Z. (Vyzhva Z.) About Approximation and Statistical Simulation of Izotropic Fields / Z. Grikh, M. Yadrenko, O. Yadrenko // Random Operators and Stochastic Equations. – 1993. – Vol. 1, № 1. – P. 37-45
- Gneiting T. Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayeuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften/ T. Gneiting / (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung, 1997. – 107 p.
- Gneiting T. Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields./ T. Gneiting, W. Kleiber, M. Schlather // Journal of the American Statistical Association. – 2010. – Vol. 105. – P. 1167-1177.
- Gradshteyn I.S. Tables of Integrals, Series and Products / I.S. Gradshteyn, I.M. Ryzhik // Moscow: Nauka. – 1971. – 1108 p.
- Vyzhva Z.O. The statistical simulation of karst suffosion processes on territory potentially dangerous objects./ Z.O. Vyzhva, S.A. Vyzhva, V.K. Demidov // Geoinformatica. – 2004. – № 2. – P. 78-85.
- Vyzhva Z. O. The Statistical Simulation of Random Processes and Fields / Z.O. Vyzhva – Kyiv: Obrii, 2011. – 388 p.
- Mantoglov A. Simulation of random fields with turning bands method/ A. Mantoglov, John L. Wilson // "MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rept". – 1981. – № 264. – 199 p.
- Oliver D.S. Gaussian Cosimulation: Modelling of the Cross-Covariance, / D.S. Oliver / Mathematical Geology. – 2003. – Vol. 35. – P. 681-698.

- Prigarin S.M. Numerical Modeling of Random Processes and Fields / S.M. Prigarin / Editorin Chief G.A. Mikhailov. – Novosibirsk: Inst. of Comp. Math. and Math. Geoph. Publ., 2005. – P. 259.

- Yadrenko M. Y. Spectral theory of random fields / M.Y. Yadrenko / Optimization Software Inc., Publications Division, New York, 1983. – P. 259.

- Yaglom A.M. Correlation Theory of Stationary and Related Random Functions./ A.M. Yaglom / Basic Results. Springer, New York. – 1987. – Vol. 1, 2.

References

- Chiles J.P., Delfiner P. (1999). Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. New York, Toronto. JohnWiley&Sons, Inc., 695 p.
- Grikh Z., Yadrenko M., Yadrenko O. (1993). About Approximation and Statistical Simulation of Izotropic Fields. Random Operators and Stochastic Equations, 1, 1, 37-45.
- Gneiting T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayeuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung, 107 p.
- Gneiting T., Kleiber W., Schlather M. (2010). Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields. Journal of the American Statistical Association, 105, 1167-1177.
- Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M. (1971). Tables of Integrals, Series and Products. Moscow: Nauka, 1108 p. [in Russian].
- 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.
- Vyzhva Z. O. (2011). The Statistical Simulation of Random Processes and Fields. Kyiv: Obrii, 388 p.
- Mantoglov A., Wilson John L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. "MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rept", 264, 199 p.
- Oliver D.S. (2003). Gaussian Cosimulation: Modelling of the Cross-Covariance. Mathematical Geology, 35, 681-698.
- Prigarin S.M. (2005). Numerical Modeling of Random Processes and Fields. Editorin Chief G.A. Mikhailov. Novosibirsk: Inst. of Comp. Math. and Math. Geoph. Publ., 259 p.
- Yadrenko M. Y. (1983). Spectral theory of random fields. Optimization Software Inc., Publications Division, New York, 259 p.
- Yaglom A.M. (1987). Correlation Theory of Stationary and Related Random Functions. Basic Results. Springer. New York, 1, 2.

Надійшла до редколегії 23.01.17

З. Вижва, проф.
E-mail: zoza_vyzhva@ukr.net,

В. Демидов, доц.
E-mail: fondad@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна,

А. Вижва, наук. співроб.
E-mail: motomustanger@ukr.net
ДП "Наукафто-газ",

К. Федоренко, асп.
E-mail: slims_mentol@mail.ru
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОВИМІРНОГО ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ З КОРЕЛЯЦІЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ ТИПУ КОШІ В ГЕОФІЗИЧНІЙ ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічної середовища з використанням сучасного математичного апарату та інформаційних технологій. В 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 цих моніторингових спостережень найбільший інтерес представляють радіоізотопні дослідження густини та вологості ґрунтів по периметру збудованих споруд. При цьому виникла проблема доповнення даних шляхом моделювання, яке проводиться при контролі зміни густини крейдяної товщі на території досліджуваного промисловиха з використанням радіоізотопних методів по сітці, що включала 29 свердловин. Цю задачу в роботі було вирішено 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 промисловиха із використанням побудованої моделі та залученням кореляційної функції Коші.

В цій роботі представлено розроблений метод, 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 товщі на площині та розроблено алгоритм статистичного моделювання з використанням функції Коші. На базі розробленого програмного забезпечення отримано модельні параметри густини крейдяної товщі на сітці спостережень необхідної детальності та регулярності. Проведено статистичний аналіз результатів чисельного моделювання та їх перевірку на адекватність.

Ключові слова: статистичне моделювання, функція Коші, спектральний розклад, кондиційність карт.

З. Выхва, проф.
E-mail: zoza_vyzhva@ukr.net,

В. Демидов, доц.
E-mail: fondad@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,

А. Выхва, науч. сотрудник
e-mail: motomustanger@ukr.net
ДП "Наукафто-газ",

К. Федоренко, асп.
E-mail: slims_mentol@mail.ru
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПОЛЯ С КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ ТИПА КОШИ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рост количества природно-техногенных катастроф требует разработки систем мониторинга состояния геологической среды с использованием современного математического аппарата и информационных технологий. В общей системе мониторинга окружающей среды важной составляющей является локальный мониторинг территорий размещения потенциально опасных объектов.

На территории Ровенской АЭС проведен комплекс геофизических исследований. Среди этих мониторинговых исследований наибольший интерес представляют радиоизотопные исследования плотности и влажности грунтов по периметру построенных сооружений. При этом возникнет проблема дополнения данных посредством моделирования, которое проводится при контроле изменения плотности меловой толщи на территории исследуемой промплощадки с использованием радиоизотопных методов по сетке, которая включала 29 скважин. Данная задача была решена в работе методом статистического моделирования, который даёт возможность отображать явление (случайное поле на плоскости) в любой точке области наблюдения. При этом моделировались усреднённые значения плотности меловой толщи на территории промплощадки с использованием модели, построенной с использованием корреляционной функции Коши.

В этой работе разработаны метод и алгоритм, а также приведен пример статистического моделирования карстово-суфозионных явлений для задачи мониторинга плотности меловой толщи на территории Ровенской АЭС. По спектральному разложению построена статистическая модель распределения плотности меловой толщи на плоскости и разработан алгоритм статистического моделирования с использованием функции Коши. На базе разработанного программного обеспечения получены параметры плотности меловой толщи по сетке наблюдений необходимой детальности и регулярности. Проведен статистический анализ результатов численного моделирования и их проверка на адекватность.

Ключевые слова: статистическое моделирование, функция Коши, спектральное разложение, кондиционность карт.

ПОДІЇ

ПРО ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТИ МІЖВІДОМЧОГО ТЕКТОНІЧНОГО КОМІТЕТУ УКРАЇНИ

У зв'язку з важливим значенням тектонічного аналізу при геологічному вивченні території України та пошуках корисних копалин, необхідністю і обов'язковістю складання тектонічних карт при глибинному геологічному картуванні (ГГК-200) в кінці минулого століття був створений Міжвідомчий тектонічний комітет України (МТКУ), головою якого було призначено голову Держгеолслужби України Д.С. Гурського.

Останнім важливим досягненням комітету було видання у 2007 р. Тектонічної карти України масштабу 1:1000 000 (головний редактор Д.С. Гурський). Проте через несприятливі економічні обставини останнього часу, в яких опинилась Державна служба геології та надр України (Держгеонадра), а також у зв'язку з тим, що пішли з життя такі видатні тектоністи, як І.І. Чабаненко, С.С. Круглов, Є.І. Палаха, Ю.О. Арсірій, А.Я. Радзівілл, Є.Б. Глеваський, К.Ю. Єсипчук, або стали пенсіонерами Д.С. Гурський, В.П. Кирилюк, В.Я. Великанов, В.М. Клочков та інші, з 2007 р. МТКУ старого складу практично припинив свою роботу.

Враховуючи надзвичайну важливість геотектоніки у всьому розмаїтті наук про Землю, її швидкий розвиток і домінуючу роль у розробці пошукових критеріїв на горючі та рудні корисні копалини, Відділення наук про Землю Національної академії наук України (ВНЗ) вирішило поновити роботу МТКУ у новому складі.

За ініціативою академіка-секретаря ВНЗ академіка НАН України О.М. Пономаренка, голови Міжвідомчого стратиграфічного комітету України (МСКУ) академіка П.Ф. Гожика, директора інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України академіка НАН України В.І. Старостенка очолити оновлений МТКУ запропоновано одному з відомих тектоністів України члену-кореспонденту НАН України О.Б. Гінтову. Було запропоновано також наступний склад керівництва МТКУ: голова комітету О.Б. Гінтов (Інститут геофізики НАН України), заступники голови – голова Науково-редакційної ради Держгеонадра України доктор геол. наук М.М. Костенко, доктор геол. наук О.М. Гнилко (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України), науковий секретар комітету кандидат геол.-мін. наук І.С. Потапчук (Інститут геологічних наук НАН України).

Керівництву МТКУ запропоновано розробити проект складу Бюро МТКУ та проект основного складу МТКУ, запровадивши до нього геологів, геофізиків та географів з наукових установ НАН України, інших наукових та виробничих організацій України різних форм власності – докторів і кандидатів наук, відомих своїми роботами з тектоніки; затвердити ці склади на організаційному засіданні Бюро МТКУ.

Запропоновано, також, розробити основні принципи діяльності МТКУ, перспективний план його роботи і затвердити їх на загальних зборах МТКУ.

17 березня ц.р. в Інституті геологічних наук відбулося організаційне засідання Бюро МТКУ, на якому було затверджено склад Бюро, склад МТКУ, проект документу про принципи роботи комітету та проект перспективного плану роботи МТКУ. 21 березня ц.р. всі документи затверджені на засіданні Бюро Відділення наук про Землю НАН України. До складу зазначених комітетів увійшли провідні науковці ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серед них директор інституту, доктор геол. наук В.А. Михайлов, професор, доктор геол.-мін. наук В.В. Шевчук, зав. кафедри, доктор геол.-мін. наук В.М. Загнітко.

Визначено принципи роботи МТКУ, що увійдуть складовою частиною в Положення про Міжвідомчий тектонічний комітет України, який буде розроблений членами Бюро МТКУ і затверджений на Бюро ВНЗ та загальних зборах членів комітету. Серед принципів наступні:

1. Основним своїм завданням МТКУ вбачає поширення знань про геотектонічні і геодинамічні процеси, які відбуваються у Землі та про адекватне відображення, пов'язаних з ними на вищих структурних рівнях, процесів та структур на геологічних, структурних, тектонічних, геодинамічних та інших картах України, а також пояснювальних записок до них.

2. Геотектоніка та геодинаміка належать до наук, які для пізнання закономірностей будови земної кори і поширення в ній родовищ корисних копалин повинні узагальнювати всі глобальні матеріали про геологічну будову як земної поверхні, так і глибинних оболонок планети. Тому в них однаково активно задіяні як всі галузі геології, так і геофізика, географія, а також термодинаміка, фізична хімія, математичне і фізичне моделювання. З цього витікає й склад членів МТКУ.

3. У своїй діяльності МТКУ буде керуватися прикладом ефективної і успішної діяльності МСК України, якому вдається обговорювати і узагальнювати практично всі наукові та виробничі дослідження в Україні з питань стратиграфії і геохронології та, як наслідок, уніфікувати стратиграфічні схеми, що використовуються при складанні та виданні геологічних карт.

4. Тектонічні науки (в порядку розширення: тектоніка – геотектоніка – геодинаміка) на тлі інших напрямків сучасної геології розвиваються найшвидше. Інформація надходить лавиноподібно. Однак підручники та посібники з цих дисциплін не встигають за нею. До того ж в Україні на сьогодні жодний вищий навчальний заклад не навчає магістрів за спеціальністю "Геотектоніка", підготовка аспірантів також не проводиться, а дисертації за даною спеціальністю захищаються дуже рідко, лише в спецраді Д26162.02 при ІГН НАН України. Таким чином, практично призупинено підготовку фахівців з геотектоніки. Молоді спеціалісти, котрі хочуть захистити дисертації тектонічного напрямку, вимушені виїздити за кордон – в Європу, Америку, Росію – де геотектоніка і геодинаміка є лідерами в науках про Землю.

Виходячи з цього, МТКУ одним з своїх важливих завдань вважає тісні стосунки з гірничими, політехнічними вузами та університетами, а також з МОН України за для виправлення такого становища.

5. Одним з важливіших завдань МТКУ є організація регіональних і міжнародних конференцій з питань геотектоніки та геодинаміки за участю вітчизняних і закордонних спеціалістів. Ця робота потребує досить великих витрат, тому може бути розпочата з 2018 р.

6. Кожен член МТКУ повинен бути носієм сучасних геотектонічних знань в геологічну аудиторію, тобто:

- а) постійно вивчати всю сучасну зарубіжну та вітчизняну геологічну, геофізичну, мінералогічну періодику;
- б) слідкувати за змістом публікацій в українській науковій періодиці, присвяченій питанням тектоніки, і активно реагувати на них;
- в) приймати активну участь у заслуховуванні та захисті дисертацій тектонічного напрямку;

г) входити з пропозиціями до Бюро МТКУ про заслуховування важливих та дискусійних питань з геотектоніки, запрошення вітчизняних та (при можливості) зарубіжних вчених для доповідей з цих питань.

7. Виходячи з важливості п. 5, МТКУ звертається до керівництва Міжвідомчого стратиграфічного комітету України (МСКУ, академік НАН України П.Ф. Гожик) і Науково-редакційної ради (НРР) Держгеолслужби України (доктор геол. наук М.М. Костенко) з пропозицією ввести до складу цих органів декількох (не менше двох) авторитетних вчених – членів МТКУ.

8. Організаційні питання:

а) Засідання Бюро МТКУ відбуваються в приміщенні ІГН НАН України за пропозиціями або вимогами членів Бюро та його голови. Про це члени Бюро сповіщаються електронною поштою і телефоном. Протоколи засідань Бюро розсилаються керівникам регіональних підрозділів МТКУ.

б) Засідання регіональних підрозділів (РП) МТКУ відбуваються за ініціативою їх керівників і пропозиціями їх членів для заслуховування доповідей членів РП або запрошених вітчизняних та іноземних вчених. Засідання відбуваються в приміщенні ІГН НАН України або там, де вирішить керівник РП. Про засідання члени РП сповіщаються вивішеними оголошеннями, а при необхідності – електронною поштою і телефоном.

в) Організаційні Загальні збори членів МТКУ скликаються в травні 2017 р., а звітні – в кінці кожного року.

Загальний план діяльності МТКУ впливає з перелічених вище принципів його роботи і включає:

Найперше у квітні 2017 р. Бюро МТКУ розробить Положення про Міжвідомчий тектонічний комітет України, який буде затверджений на Бюро ВНЗ та загальних зборах членів МТКУ.

Також одним з найперших завдань МТКУ вважає продовження розробки та видання Короткого українського словника сучасних тектонічних і геодинамічних термінів (розпочатої в УкрДГПІ, проте не завершеної через нестачу коштів), в якому були б враховані не лише досягнення світової геотектоніки, але й надбання української геологічної науки та особливості назв тектонічних структур України.

Конкретний план полягає в організації і керівництві складанням тектонічних карт окремих регіонів та всієї території України.

В першу чергу передбачається розпочати побудову Тектонічної карти Українського щита масштабу 1: 500 000 силами Інституту геологічних наук, Інституту геофізики, Інституту геохімії, мінералогії і рудних формацій НАН України, геологічними підприємствами Держгеонадра України та спеціалістами з геології докембрію інших організацій і Вузів України.

Оскільки фінансування вказаних робіт поки що немає, в 2017 р. будуть вирішуватись в основному організаційні питання, а також Інститутом геофізики НАН України, ДП "Українська геологічна компанія", Донецьким національним технічним університетом (м. Покровськ) за рахунок коштів існуючих тем почнуться і в 2018 р. завершаться роботи з побудови Схеми розломно-мегаблокової структури УЩ масштабу 1: 500 000 як основи-каркасу Тектонічної карти Українського щита масштабу 1: 500 000. Схема буде представлена в МТКУ для розгляду і затвердження, після чого буде видана і рекомендована як обов'язкова для всіх організацій, які займаються побудовою регіональних тектонічних і геологічних карт окремих районів УЩ.

У 2018 р., за наявності фінансування з боку Держгеонадра України та НАН України, під керівництвом МТКУ почнеться побудова Тектонічної карти Українського щита масштабу 1: 500 000, в якій будуть задіяні всі перелічені вище організації.

Передбачається також побудова тектонічних карт інших регіонів України силами відповідних регіональних підрозділів.

Наукове видання



ВІСНИК КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 1(76)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування О.О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 11,9. Наклад 300. Зам. № 217-8257.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл1.
Підписано до друку 14.03.17

Видавець і виготовлювач
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (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.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02