

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 наукометричних базах 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 наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Journal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, 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. Лоцицький, 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.; 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.

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; Г. Кулієв, Інститут геології та геофізики НАН Азербайджану; 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

Адреса редколегії

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"
16 березня 2018 року (протокол № 12)

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.

Journal 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 наукометричних базах 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 наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

Chief publication manager O. Menshov

EXECUTIVE EDITOR

EDITORIAL BOARD

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

Ukrainian Members:

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Executive Editor); O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; 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.; O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. 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; H. Guliyev, Institute of Geology and Geophysics of ANAS, Azerbaijan; 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 Federico II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia

Address

Institute of Geology, 90 Vasylykivska 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
March 16, 2018 (Minutes # 12)

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

Гнідець В., Григорчук К., Кошіль Л., Яковенко М.

Літолого-фаціальні особливості та умови нагромадження базальних відкладів середнього девону Переддобрудзького прогину6

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Шнюков С., Лазарєва І., Зінченко О., Хлонь О., Гаврилів Л., Алексєєнко А.

Геохімічна модель магматичної еволюції гранітоїдів Коростенського плутону (Український щит): петрогенетичні аспекти і генезис рудної мінералізації в метасоматичних зонах12

Стрельцов О., Євтехов В., Євтехова А., Шепелюк М.

Технологічна мінералогія залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну23

ГЕОФІЗИКА

Ефендієв Г., Мамедов П., Пірівердієв І., Мамедов В.

Оцінка швидкості поглинання бурового розчину з використанням нечіткої кластеризації геологічних об'єктів за петрофізичними властивостями28

Безродна І., Антонюк В.

Оцінка колекторських властивостей теригенних порід московського ярусу Західношебелинської площі на основі даних петрофізики34

Федоришин Д., Трубенко О., Федоришин С.

Способи вимірювання поперечного часу релаксації порід-колекторів неогенових та кам'яновугільних відкладів газових і нафтових родовищ методом ядерно-магнітного резонансу39

Бондар К., Сачко А., Чурубров М., Мамишев І.

Нові дані про газовий склад повітря гіпсових печер Поділля і Буковини44

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Калашник Г., Кузьмін А.

Металогенічна різноманітність Волноваської рудної зони у зв'язку з особливостями глибинної будови літосфери УЩ49

Вижва С., Курило М., Балега А.

Основні інструменти державного планування і фінансового забезпечення геологічного вивчення надр в Україні56

Вілена Г.

Золоторудне родовище "El Toro" (Перу): геологічна характеристика і перспективи63

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Долін В., Яковлєв Є., Щербак О., Мещеряков С., Пампуха Г.

Провідні чинники формування поля забруднення ґрунтових вод під впливом металургійного виробництва (на прикладі Дніпровського металургійного заводу)70

Кузьменко Е., Яковлєв Є., Давибіда Л., Зінченко В., Нікіташ О.

Свердловинний вертикальний дренаж як спосіб зниження екзогеодинамічної активності на схилі територіях78

Любчик О., Кошляков О., Курило М.

Розрахунок доходу власника надр (держави) від господарської діяльності з видобутку підземних вод згідно із законодавствами України та Польщі86

Кошарна С., Коржнев М.

Важкі метали на техногенних об'єктах гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького басейну92

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Зацерковний В.

Розробка ефективних алгоритмів діагностування забрудненості поверхневих вод98

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Gnidets V., Grygorchuk K., Koshil L., Yakovenko M.

Lithofacies features and accumulating conditions of Middle Devonian basal layers of Dobrudja Foredeep6

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Shnyukov S., Lazareva I., Zinchenko O., Khlon E., Gavryliv L., Aleksieienko A.

Geochemical model of Precambrian granitoid magmatic evolution in the Korosten pluton (Ukrainian shield):
petrogenetic aspects and genesis of complex ore mineralization in metasomatic zones12

Streltsov V., Evtekhov V., Evtekhova A., Shepelyuk M.

Technological mineralogy of iron ore riebeckite metasomatites of Kryvyi Rih basin23

GEOPHYSICS

Efendiyev G., Mammadov P., Piriverdiyev I., Mammadov V.

Estimation of lost circulation rate using fuzzy clustering of geological objects by petrophysical properties28

Bezrodna I., Antoniuk V.

Estimation of moscovian stage West-Shebelynska area clastic sedimentary rock reservoir properties using
laboratory petrophysical data34

Fedoryshyn D., Trubenko A., Fedoryshyn S.

Methods of measuring the time of relaxation of neogene and carboniferous reservoir rocks gas and oil fields
by nuclear magnetic resonance method39

Bondar K., Sachko A., Churubrov M., Mamyshev I.

New data on gas composition of the air in gypsum caves from Podillya and Bukovyna44

MINERAL RESOURCES

Kalashnyk G., Kuzmin A.

Metallogenic diversity of the Volnovahskaya ore area in connection with features of Ukrainian Shield lithosphere's
deep structure49

Vyzhva S., Kurylo M., Balega A.

Main tools of state planning and financial support of geological studies in Ukraine56

Villena H.

"El Toro" gold mine (Peru): geological features and perspectives63

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Dolin V., Yakovlev E., Shcherbak O., Meshcheryakov S., Pampukha G.

Main formation factors of groundwater contamination field under the influence of metallurgical production
(on the example of Dnieper metallurgical plant)70

Kuzmenko E., Yakovlev E., Davybida L., Zinchenko V., Nikitash O.

Well vertical drainage as method for decreasing exogeodynamic activity on slope areas78

Luibchyk O., Koshliakov O., Kurilo M.

Tax calculation of groundwater extraction under the applicable laws of Ukraine and Republic of Poland86

Kosharna S., Korzhnev M.

Heavy metals on technogenic objects of mining and processing enterprises of the Kryvyi Rih Basin92

GEOLOGICAL INFORMATICS

Zatserkovnyy V.

Development of effective algorithms of surface water pollution diagnostics98

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Гнидец В., Григорчук К., Кошиль Л., Яковенко М.

Литолого-фациальные особенности и условия накопления базальных отложений
среднего девона Преддобруджинского прогиба6

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Шнюков С., Лазарева И., Зинченко О., Хлонь Е., Гаврылив Л., Алексеенко А.

Геохимическая модель магматической эволюции гранитоидов Коростенского плутона (Украинский щит):
петрогенетические аспекты и генезис рудной минерализации в метасоматических зонах12

Стрельцов В., Евтехов В., Евтехова А., Шепелюк М.

Технологическая минералогия железорудных рибекитовых метасоматитов Криворожского бассейна23

ГЕОФИЗИКА

Эфендиев Г., Мамедов П., Пиривердиев И., Мамедов В.

Оценка скорости поглощения бурового раствора с использованием нечеткой кластеризации
геологических объектов по петрофизическим свойствам28

Безродная И., Антонюк В.

Оценка коллекторских свойств терригенных пород московского яруса Западно-Шебелинской площади
на основе данных петрофизики34

Федоришин Д., Трубенко А., Федоришин С.

Способы измерения поперечного времени релаксации пород-коллекторов неогеновых и каменноугольных
отложений газовых и нефтяных месторождений методом ядерно-магнитного резонанса39

Бондарь К., Сачко А., Чурубров Н., Мамишев И.

Новые данные о газовом составе воздуха гипсовых пещер Подолья и Буковины44

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Калашник А., Кузьмин А.

Металлогеническое разнообразие Волновахской рудной зоны в связи
с особенностями глубинного строения литосферы УЩ49

Вижва С., Курило М., Балега А.

Основные инструменты государственного планирования и финансового обеспечения геологического
изучения недр в Украине56

Вилена Г.

Золоторудное месторождение "El Toro" (Перу): геологическая характеристика и перспективы63

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Долин В., Яковлев Е., Щербак О., Мещеряков С., Пампуха Г.

Ведущие факторы формирования поля загрязнения грунтовых вод под влиянием металлургического
производства (на примере Днепровского металлургического завода)70

Кузьменко Э., Яковлев Е., Давыбида Л., Зинченко В., Никиташ А.

Скважинный вертикальный дренаж как способ снижения экзогеодинамической активности
на склоновых территориях78

Любчик О., Кошляков А., Курило М.

Расчет дохода владельца недр (государства) от хозяйственной деятельности по добыче подземных вод
согласно законодательствам Украины и Польши86

Кошарная С., Коржнев М.

Тяжелые металлы на техногенных объектах горно-обогатительных комбинатов Криворожского бассейна92

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Зацерковный В.

Разработка эффективных алгоритмов диагностики загрязненности поверхностных вод98

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 552.5+551.7.022.4/734.3 (477.74)

В. Гнідець, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: vgnidets@gmail.com
К. Григорчук, д-р геол. наук, зав. відділу
E-mail: kosagri@ukr.net
Л. Кошіль, пров. інж.
E-mail: koshillesia@gmail.com
М. Яковенко, канд. геол. наук, вчений секретар Інституту
E-mail: myroslavakoshil@ukr.net
Відділ седиментології провінцій горючих копалин
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України
тел.: +38(032)2634161
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна

ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА УМОВИ НАГРОМАДЖЕННЯ БАЗАЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ СЕРЕДЬНОГО ДЕВОНУ ПЕРЕДДОБРУДЗЬКОГО ПРОГИНУ

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

Мета роботи полягає у визначенні літолого-фаціальних особливостей та умов седиментації базальної товщі ейфельських відкладів Білоліського блоку Переддобрудзького прогину. Методика включає літологічну інтерпретацію геолого-геофізичних матеріалів, літолого-фаціальний та седиментологічний аналізи.

Результати. Встановлено особливості літолого-фаціальної зональності базальних відкладів середнього девону. Показано, що в межах Сариярсько-Жовтоярської та Саратовсько-Балабанівської антиклінальних зон розвинені головню глинисто-сульфатні відклади, а в депресіях – карбонатні. Здійснено реконструкції обстановок осадонагромадження, які показали нерівномірний характер просторово-вікового розвитку утворень різних фаціальних зон сульфатно-карбонатного шельфу. Область супраліторалі охоплювала Сариярсько-Жовтоярське та Саратовсько-Балабанівське підняття і була облямована неширокими зонами літоралі та верхньої субліторалі. Основну частину Тузлівської та Алібейської западин займала нижня сублітораль. Виявлене виклинювання горизонтів верхньої субліторалі з біостромами у склепінні підняття.

Наукова новизна. Вперше визначено літолого-фаціальну зональність базальних відкладів середнього девону та з'ясовані обстановки їхнього нагромадження.

Практичне значення. Виявлене виклинювання горизонтів з біостромами у склепінні підняття може вказувати на неантиклінальну природу пасток вуглеводнів у відкладах середнього девону, що потребує внесення певних коректив у практику ведення нафтогазопошукових робіт у регіоні.

Ключові слова: Переддобрудзький прогин, середній девон, літофації, сульфатно-карбонатний шельф, пастки вуглеводнів.

Вступ. Девонські відклади Переддобрудзького прогину є одним із перспективних комплексів Південної нафтогазоносною області України. У 70-х роках минулого століття були відкриті Східносаратське та Жовтоярське родовища нафти у середньодевонських сульфатно-карбонатних відкладах та отримані невеликі припливи нафти на Білоліській та Сариярській структурах, а також промисловий приплив газу з теригенних порід нижнього девону у св. Жовтоярська-1.

Втім Переддобрудзький прогин, який складає частину Причорноморсько-Кримської нафтогазоносною області, залишається найменше вивченим сейсморозвідкою та бурінням регіоном (3,9 м/км² або 707,2 км²/1 св., за даними [4]). Відповідно, осадова товща лише незначною мірою охоплена різноранговими літологічними дослідженнями, а реконструкції обстановок осадонагромадження практично не розглядалися. У цьому аспекті можна згадати тільки роботи [1, 7], у яких, однак, теж схарактеризовані лише певні регіональні палеоокеанографічні аспекти.

Проведення ж седиментаційних реконструкцій, враховуючи навіть фрагментарні фактичні дані, є важливим, оскільки умови осадонагромадження контролюють будову, умови формування, розміщення і якість природних колекторів та флюїдоупорів, що дозволяє прогнозувати ділянки їх розвитку у тому числі і у неохоплених бурінням частинах нафтогазоносних басейнів. Ця робота присвячена розгляду літолого-фаціальних особливостей та реконструкції обстановок седиментації базальної товщі середнього девону (припідшовна частина відкладів ейфельського віку), з якою, зокрема, пов'язані поклади нафти (продуктивні горизонти D₂₋₁, D₂₋₂) на Східносаратському родовищі.

Мета роботи – визначити просторово-вікові особливості поширення окремих літологічних відмін, що складають осадовий комплекс базальної товщі ейфельських

відкладів, реконструювати обстановки осадонагромадження цих нашарувань у межах Білоліського блоку Переддобрудзького прогину.

Матеріали та методи. Побудова седиментаційних моделей ґрунтувалася на літолого-петрографічному вивченні порід (38 шліфів) та інтерпретації результатів геофізичного дослідження 16 свердловин (ГДС) (радіоактивні методи) і складалася з двох етапів. На першому – було здійснене літологічне розчленування розрізів свердловин за результатами ГДС, вивчення візріців керну та петрографічного аналізу. На другому етапі проводилися літолого-фаціальний аналіз, здійснювалися реконструкції обстановок осадонагромадження з метою визначення фаціальних поясів, фаціальної мінливості відкладів, їх седиментаційної циклічності. Фаціальні побудови здійснені по 16 свердловинах, що лягло в основу реконструкцій обстановок осадонагромадження теригенно-карбонатної та сульфатної пачок базальних верств середнього девону. При цьому були враховані результати літофаціальних побудов, а також структурні особливості території. У кожному конкретному випадку при визначенні седиментаційної обстановки приймалося до уваги домінування у розрізі певної фації, а також особливості латеральної фаціальної збалансованості.

Результати. Літофаціальна зональність базальних відкладів середнього девону. Переддобрудзький прогин у середньому девоні являв собою мілководний засолонений шельф, який у крайовій частині був обмежений системою бар'єрних рифів, через яку у шельфову зону періодично надходили води нормальної солоності [7]. У межах цього широкого шельфу існували конседиментаційні підняття і западини (рис. 1), які впливали на характер осадонагромадження.

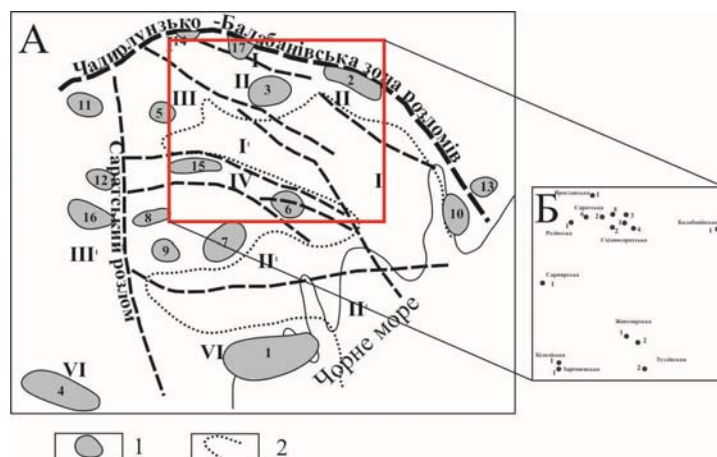


Рис. 1. Структурні елементи східної частини Переддобрудзького прогину за [7]:

(А) (у червоному прямокутнику – район досліджень):

антиклінальні зони: I – Рибальсько-Ярославська, II – Саратсько-Балабанівська, III – Григорівська, IV – Сариярсько-Жовтоярська, V – Кагильницько-Зарічненська, VI – Глибокинсько-Лиманська;

1 – антиклінальні підняття: 1 – Лиманське, 2 – Балабанівське, 3 – Східносаратське, 4 – Глибокинське, 5 – Григорівське, 6 – Жовтоярське, 7 – Зарічненське, 8 – Кагильницьке, 9 – Кантемирівське, 10 – Курортне, 11 – Новоселівське, 12 – Павлівське, 13 – Приморське, 14 – Рибальське, 15 – Сариярське, 16 – Татарбунарське, 17 – Ярославське; 2 – депресії: I¹ – Тузлівська, II¹ – Албейська, III¹ – Татарбунарська. Розташування досліджених свердловин (Б)

У результаті дослідження літологічної структури ейфельських відкладів [2] на фоні домінування у розрізі сульфатно-карбонатних утворень у нижній частині товщі встановлено розвиток доволі потужної (до 150 м) карбонатно-теригенної пачки регіонального поширення. Остання відображає поступову зміну теригенного седиментогенезу раннього девону сульфатно-карбонатним – середнього та пізнього девону. Цю товщу можна віднести до перехідного типу, який є характерним для різновікових осадових нашарувань [3]. Такі відклади часто нафтогазоперспективні, тому важливим є з'ясування седиментаційних обставин їхнього нагромадження. Тим більше, що ця карбонатно-теригенна пачка перекривається сульфатними утвореннями, які можуть слугувати ефективним флюїдоупором.

Характер літолого-фаціальності зональності теригенно-карбонатної та сульфатної пачок базальних верств середнього девону виявляє певну подібність поширення сульфатних та карбонатних порід, натомість – суттєву різницю теригенно-глинистих відмін (рис. 2). Слід зазначити, що сульфатна пачка відсутня у північних ділянках регіону (св. Ярославська-1, Балабанівська-1).

Максимальний розвиток *ангідритів* спостерігається у південно-західній частині території (район Сариярсько-Жо-

втоярської антиклінальної зони), де вміст ангідритів у розрізі перевищує 20 та 40 % для теригенно-карбонатної та сульфатної пачок, відповідно. Ця ділянка характеризується також значним вмістом у відкладах мергелів (понад 20–24 %). Локальний максимум останніх виявлений у розрізах деяких свердловин Саратської та Східносаратської площ.

Доломіти та вапняки характеризується наявністю двох ареалів підвищеної кількості у відкладах (район Саратської, Східносаратської та Тузлівської структур). При цьому, якщо ділянки максимального вмісту вапняків для теригенно-карбонатної та сульфатної пачок практично збігаються, то для доломітів спостерігаються певні відмінності. Так, у першому випадку високі значення цього параметру (фонові 12–16 %) встановлені на Тузлівській (понад 20 %) та західній перикліналі Саратської структури (понад 24 %); натомість у другому – на Жовтоярській (більше 24 %) та східній перикліналі Східносаратської структури (більше 20 %). Теригенні утворення (аргіліти, алевроліти та пісковики) у відчутній кількості наявні тільки у припідшовній теригенно-карбонатній пачці.

Підвищений їх вміст у розрізах спостерігається на південно-східному та, частково, західному крилах Східносаратської структури (св. 3, 4), де вміст аргілітів досягає 28,9–44,4 %, а пісковиків та алевролітів – 16,3–21,1 %.

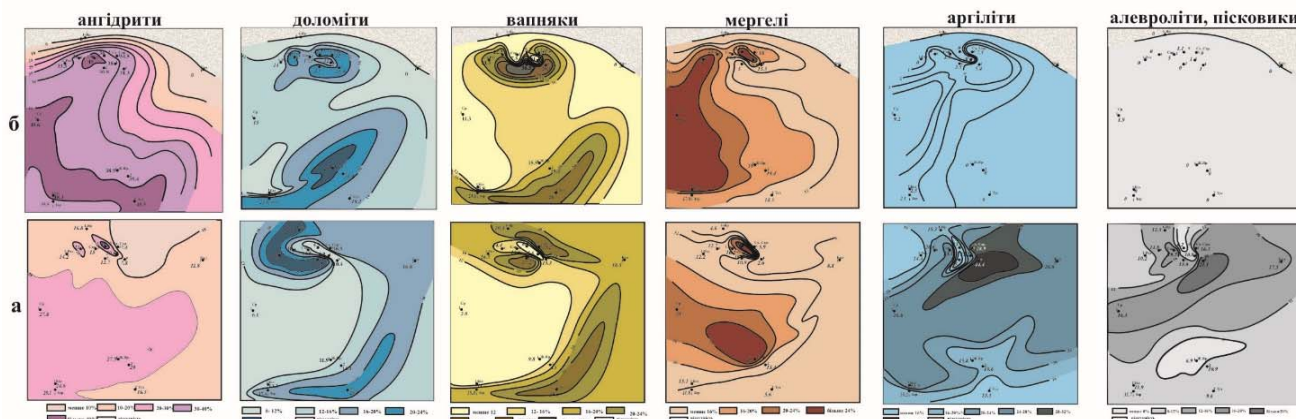


Рис. 2. Літолого-фаціальні моделі (вміст порід) відкладів базальної товщі середнього девону:

а – теригенно-карбонатна пачка, б – сульфатна пачка

Вищеописані літолого-фаціальні особливості досить виразно засвідчують конседиментаційну природу певних структурних елементів. Так, у межах антиклінальних зон, (передусім Сариярсько-Жовтоярської, частково Саратовсько-Балабанівської) сульфатні та мергельно-глинисті утворення відіграють істотну роль у розрізі. У Тузлівській депресії вміст останніх значно зменшується, на фоні зростання ролі вапняків та доломітів. У контексті палеогеографічної інтерпретації ці дані можуть вказувати на існування лагунно-себхових обстановок седиментації на припіднятих та карбонатного осадоногомогромадження – в більш занурених ділянках території. В межах останніх місцями, внаслідок локального теригенного скиду, відклади збагачувалися теригенно-глинистим матеріалом (район св. Східносаратська 3 та 4).

Обстановки осадоногомогромадження. В основу седиментологічних реконструкцій покладено літолого-фаціальні побудови, особливості розвитку різних літофаціальних комплексів у розрізі, їх літологічна структура, петрографічні дані, з урахуванням результатів попередніх досліджень [1] та відомих моделей шельфового сульфато-карбонатногомогромадження [5, 8]. Згідно з останніми, в межах шельфу виділяються зони седиментації: супралітораль, літораль, сублітораль (верхня, нижня); яким притаманні певні асоціації осадових утворень. Зона *супраліторальних* фацій включає осади себх, лагун, засоленних прибережних рівнин. Відклади цих обстановок складені переважно глинистими доломітами, доломіто-ангідритами, ангідритами. *Літоральна* (припливно-відпливна) зона характеризується значним впливом короточасних коливань рівня моря. Відклади зазвичай збагачені теригенно-глинистим матеріалом. Для утворень літоралі з активним гідродинамічним режимом характерні зернисті вапняки, доломіти, алевроліти, пісковики; з пасивним – мулові доломіти, аргіліти, мергелі. *Субліторальні зони* седиментації переважно характеризуються глибинами до 20–30 м. У верхній частині субліторалі (глибини до 10–15 м) поширені органогенні вапняки, нижня її частина складена більш глинистими карбонатними утвореннями (глинисті вапняки, мергелі) з фрагментарним поширенням доломітів. Характерною особливістю верхньої субліторалі є розвиток біогенних споруд (біогери, біостроми).

На рис. 3 показано приклади літологічного та фаціального розчленування відкладів раннього ейфеля. Фаціальна структура товщі є доволі неоднорідною, що воче-

видь відображає мінливість у часі обстановок осадоногомогромадження. В цілому розріз має регресивний характер, що фіксується зростанням у його верхній частині ролі утворень супраліторальної зони. Оскільки більша частина свердловин розташована в межах підняття та на їх схилах у розрізах діагностовано лише зони супраліторалі, літоралі та верхньої субліторалі. Остання становить найбільший практичний інтерес, оскільки, як вище зазначалося, власне до цієї фації тяжіють карбонатні акумулятивні споруди. За результатами петрографічних досліджень породи представлені органогенними, органогенно-детритовими вапняками, які різною мірою доломітизовані (тип – від розсіяної до суцільної) та частково ангідритизовані [1, 2]. Потужність вапняково-доломітових пачок у вивчених розрізах змінюється від перших метрів до 17–20 м. Найпотужніші карбонатні акумулятивні тіла у теригенно-карбонатній пачці виявлено у св. Східносаратська-2 та 3, Саратовська-6, Розівська-1, Ярославська-1, Тузлівська-2, Зарічненська-1; у сульфатній – Східносаратська-2 та 4, Саратовська-6, Сариярська-1, Жовтоярська-2, Тузлівська-2.

Слід зазначити, що розвиток біостромів у відкладах середнього девону був аргументований ще у роботі [1]. Втім, детальніші дослідження, представлені у даній статті, дозволили уточнити особливості просторового розвитку та внутрішньої будови цих карбонатних тіл. Відповідно до цього, згідно із [6] їх можна віднести до типу "багатопверхових біостромів".

Очевидно, в цілому картина поширення фаціальних зон теригенно-карбонатної та сульфатної пачок доволі подібна (рис. 4). Під час нагромадження першої області супраліторалі охоплювала Сариярсько-Жовтоярське та Саратовсько-Балабанівське підняття. Вона була облямована неширокими зонами літоралі та верхньої субліторалі. Основну частину Тузлівської та Алібейської западин займала нижня сублітораль.

Фаціальні моделі (перетини) виявили нерівномірний характер просторово-вікового розвитку відкладів різних фаціальних зон у розрізі (рис. 5). При цьому виразно фіксується виклинювання утворень верхньої субліторалі у склепінних ділянках Жовтоярської та Східносаратської структур (особливо у припідшовній частині відкладів). Оскільки власне до цієї фаціальної зони приурочені карбонатні органогенні тіла, які розглядаються як природні колектори [1], є підстави припускати неантиклінальну природу пасток вуглеводнів у відкладах середнього девону.

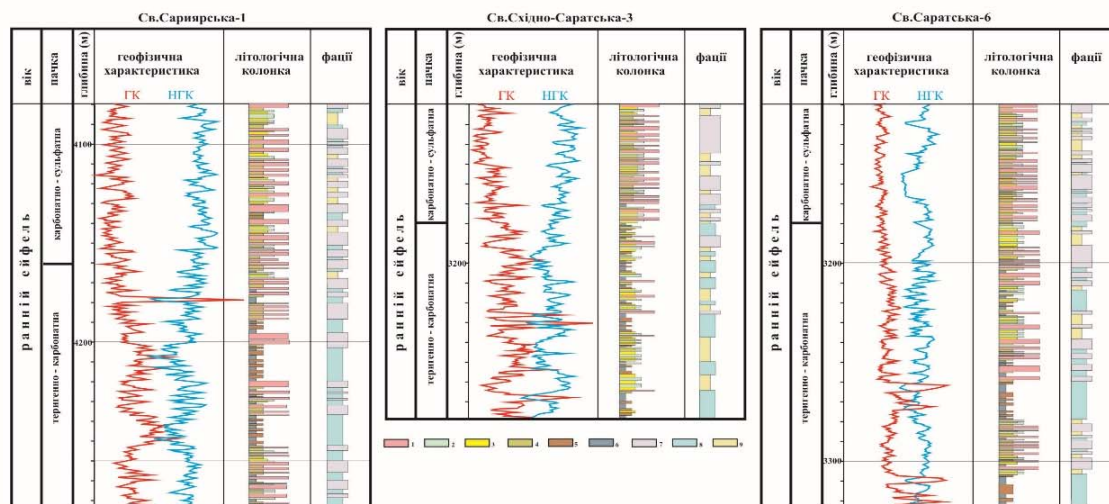


Рис. 3. Літологічні та фаціальні розрізи базальних відкладів середнього девону:
породи: 1 – ангідрити, 2 – доломіти, 3 – вапняки, 4 – мергелі, 5 – алевроліти, пісковики, 6 – аргіліти;
фації: 7 – супралітораль, 8 – літораль, 9 – верхня сублітораль

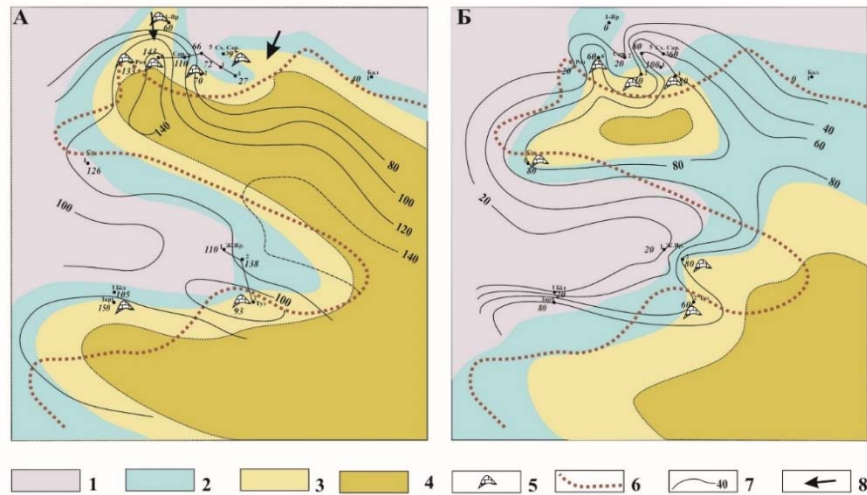


Рис. 4. Обстановки осадонагромадження:

пачки: А – теригенно-карбонатна, Б – сульфатна; 1 – супралітораль, 2 – літораль, 3 – верхня сублітораль, 4 – нижня сублітораль, 5 – біостроми, 6 – контури депресійних зон за [7], 7 – ізопахіти, 8 – напрямки теригенного скиду

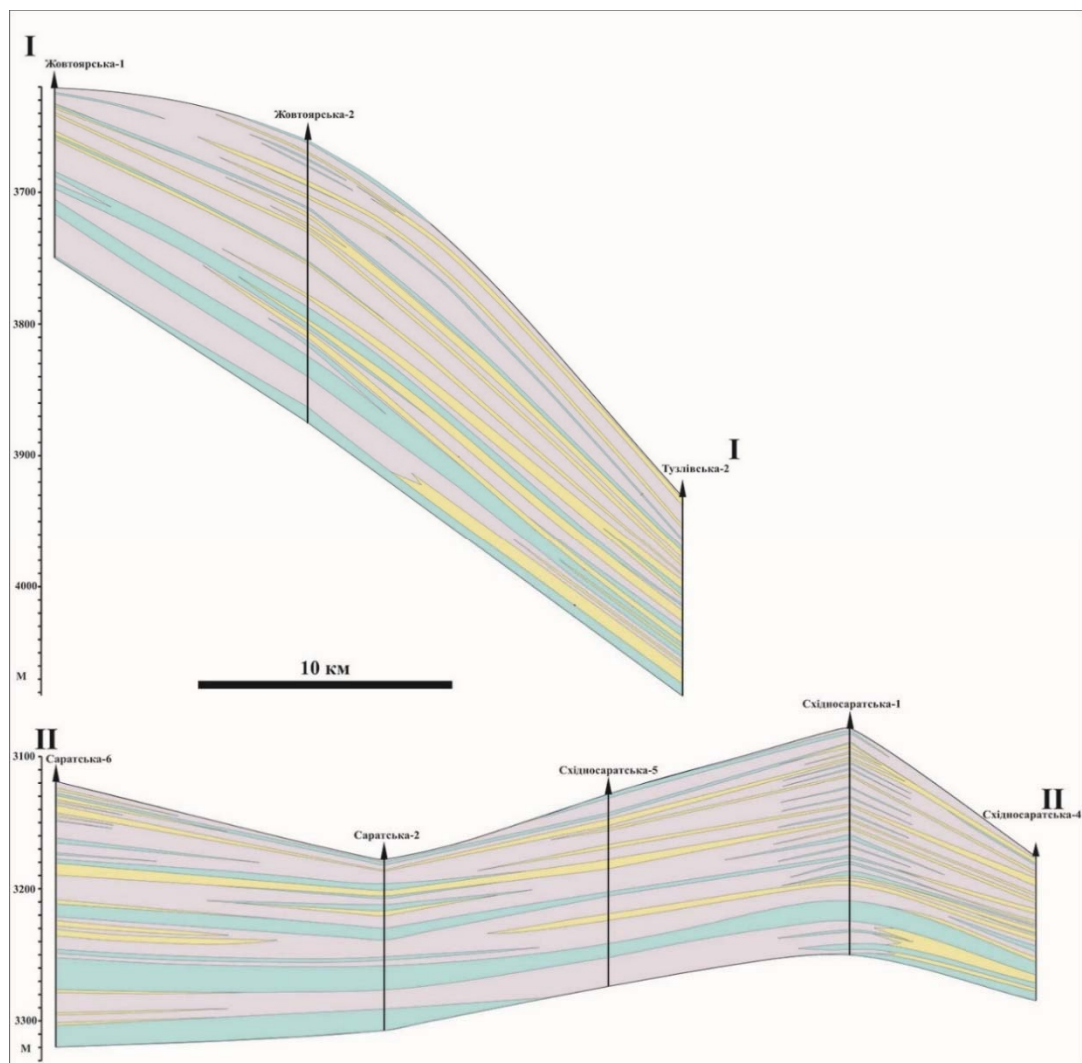


Рис. 5. Фаціальні моделі базальних відкладів середнього девону:

перетин I-I: св. Розівська-1, Саратовська-6 та 2, Східносаратська-5 та 3, Балабанівська-1;
перетин II-II: св. Розівська-1, Саратська-1, Білоліська-1 (умовні позначення див. рис. 4)

Це підтверджується і побудовами (літолого-фаціальна схема та фаціальний перетин), здійсненими для району Східносаратської структури (рис. 6), у нижній частині ейфельських відкладів якої (продуктивні горизонти

Д₂₋₂, Д₂₋₁) виявлені поклади нафти [1]. Власне у цій частині розрізу спостерігається редукція і виклинювання у склепінні структури відносно потужних (до 15-17 м) горизонтів з біостромами (рис. 6, А). Літолого-фаціальна ж

демонструє елементи концентричної зональності поширення карбонатних порід у відкладах базальної теригенно-карбонатної пачки. При цьому у районі свердловин Ярославська-1 та Східносаратська-2 встановлено максимальний розвиток у розрізі вапняків та доломітів. Це може вказувати на атолоподібний характер розвитку багатоповерхових біостромів (розміром близько 5-7х20-30 км) на схилах конседиментаційних підняттях.

Наукова новизна та практичне значення. На основі проведених досліджень встановлено особливості літо-

лого-фаціальної зональності базальних відкладів середнього девону в межах Білоліського блоку Переддобрудзького прогину. Здійснено реконструкції обстановок осадонагромадження цих відкладів, які показали нерівномірний характер просторового розвитку утворень різних фаціальних зон сульфатно-карбонатного шельфу. Виявлене при цьому виклинювання горизонтів з біостромами у склепінні підняттях може вказувати на неантиклінальну природу пасток вуглеводнів у відкладах середнього девону, що потребує внесення певних коректив у практику ведення нафтогазопошукових робіт у регіоні.

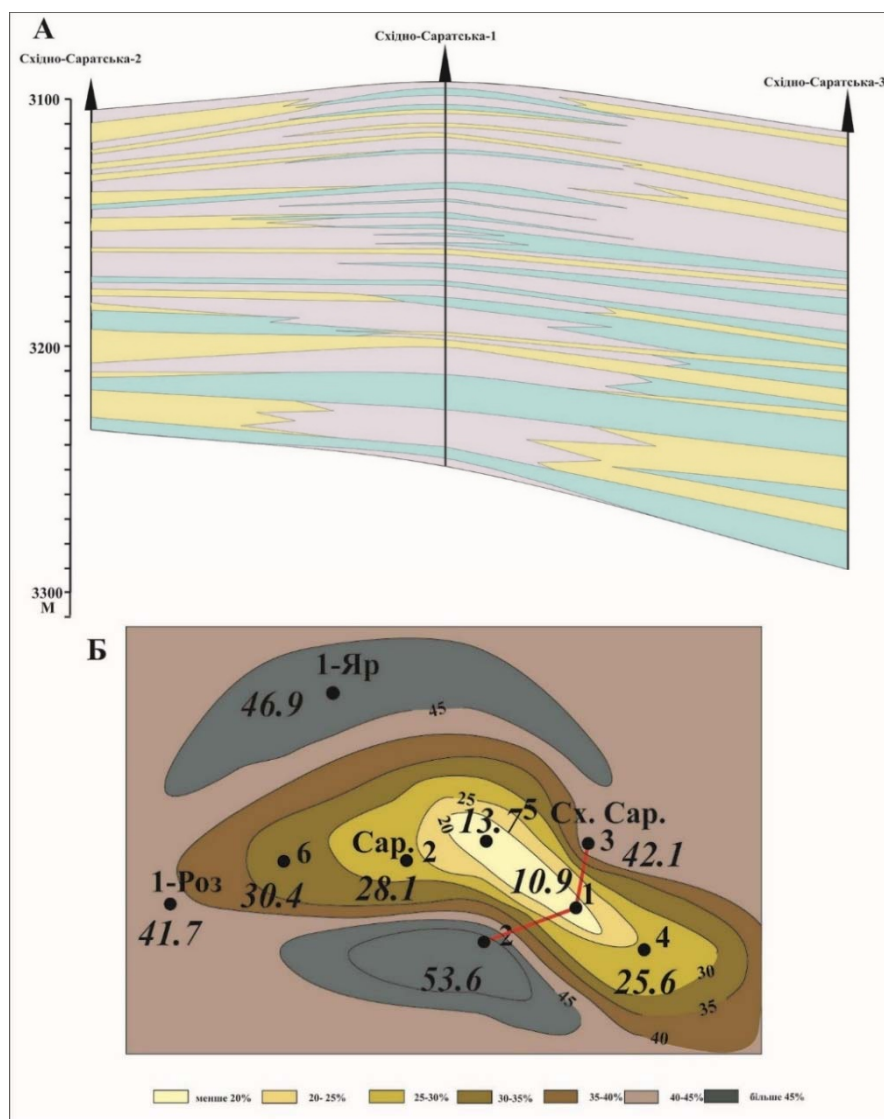


Рис. 6. Особливості розвитку карбонатних утворень у межах Східносаратської структури:
А – фаціальний перетин; Б – літолого-фаціальна зональність (вміст вапняків та доломітів)

Висновки. Встановлено літолого-фаціальні особливості базальних відкладів середнього девону, зокрема домінування глинисто-сульфатних утворень у межах Саратсько-Жовтоярської та Саратсько-Балабанівської антиклінальних зон і карбонатних – у депресійних ділянках. Здійснено реконструкції обстановок осадонагромадження з локалізацією фаціальних зон супраліторалі, літоралі та субліторалі, характер розвитку яких у розрізі засвідчує значну мінливість у часі умов седиментації. У склепіннях Жовтоярської та Східносаратської структур встановлено виклинювання утворень верхньої субліторалі, до якої тяжіють карбонатні біогенні тіла. Останні у вигляді окремих багатоповерхових біостромів розвинені

на схилах підняттях, створюючи атолоподібні морфоструктури. Такий характер розвитку потенційних природних колекторів дає підстави передбачати неантиклінальну природу пасток вуглеводнів у відкладах середнього девону Переддобрудзького прогину.

Список використаних джерел

1. Літогенез девонських відкладів Придобрудзького прогину (палеокеанографія, седиментаційна циклічність, формування порід-колекторів) / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Б. М. Полухтович та ін. – К. : УкрДГПІ, 2003. – 96 с.
2. Літолого-фаціальна зональність та літологічна структура ейфельських відкладів Переддобрудзького прогину / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Л. Б. Кошіль та ін. // Геодинаміка. – 2016. – № 1 (20). – С. 50–62.
3. Мачулина С.А. Базальные толщи терригенных, карбонатных и соленосных формаций и их роль в строении осадочных бассейнов в связи

с прогнозированием полезных ископаемых / С. А. Мачулина, С. Б. Шехунова // 36. наук. праць Інституту геол. наук НАН України. – 2008. – № 1. – С. 255–261.

4. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря / П. Ф. Гожик, І. І. Чебаненко, М. І. Євдощук та ін. – К.: ЕКМО, 2007. – 232 с.

5. Обстановки осадконакопления и фации / Х. Г. Реддинг, Д. Д. Реддинг, Х. Г., Коллинсон и др. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 352 с.

6. Органогенные постройки девона Белоруссии / А. С. Махнач, В. А. Москвич, С. А. Кручек и др. – Минск: Наука и техника, 1984. – 236 с.

7. Скачедуб Є.О. Умови осадконагромадження і нафтогазоносність середньодевонсько-нижньодевонської янувугільної евапоритової формації Передобрудзького прогину / Є.О. Скачедуб // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 1 (102). – С. 41–52.

8. Танинская Н.В. Седиментологические критерии прогноза коллекторов в среднеордовикско-нижнедевонских отложениях Тимано-Печорской провинции / Н. В. Танинская // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т. 5. – № 4 – С. 1–29.

References

1. Gnidets, V.P., Grygorchuk, K.G., Poluhovych, B.M. et al. (2003). Lithogenesis of Devonian deposits of Dobrogean foredeep (paleoceanography, sedimentary cyclicity, reservoir rocks' formation). Kyiv: Publishers UkrSGRI, 96. [in Ukrainian].

2. Gnidets, V.P., Grygorchuk, K.G., Koshil, L.B. et al. (2016). The lithofacies zonality and lithological structure of Eifelian deposits of Dobrudja Foredeep. Geodynamics, 1 (20), 50-62. [in Ukrainian].

3. Machulina, S.A., Shehunova, S.B. (2008). The basal measures of terrigenous, carbonate and saliferous formations and their role in the building of sedimentary basins according to forecasting of mineral resources. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, 1, 255-261. [in Russian].

4. Gozhyk, P.F., Chebanenko, I.I., Evdoschuk M.I. et al. (2007). Oil and gas prospecting objects of Ukraine. Scientific and practical fundamentals of researching of the deposits in north-western shelf of the Black Sea. Kyiv: EKMO, 232. [in Ukrainian].

5. Redding, H.G., Redding, D.D., Kollinson, X.G., Allen, F.A. et al. (1990). Sedimentation environments and facies. B. 1. M.: Mir, 352. [in Russian].

6. Mahnach, A.S., Moskvich, V.A., Kruchek, S.A. et al. (1984). Organogenic buildings of Devonian of Belorussia. Minsk: Nauka i tehnika, 236. [in Russian].

7. Skachadub, Ye.O. (1998). Conditions of sedimentation and oil and gas bearing of Middle Devonian and Lower Carboniferous evaporite formation of Dobrudja Foredeep. Geology and geochemistry of combustible minerals, 1 (102), 41-52. [in Ukrainian].

8. Taninskaya, N.V. (2010). Sedimentology criteria of reservoir forecast in Middle Ordovician – Lower Devonian deposits of Timano-Pechersk province. Oil and gas geology. Theory and Practice, 5, 4, 1-29. [in Russian].

Надійшла до редколегії 14.12.17

V. Gnidets, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher

E-mail: vgnidets@gmail.com

K. Grygorchuk, Dr. Sci. (Geol.), Head of Department

E-mail: kosagri@ukr.net

L. Koshil, Leading Engineer

E-mail: koshillesia@gmail.com

M. Yakovenko, Cand. Sci. (Geol.), Scientific Secretary of the Institute

E-mail: myroslavakoshil@ukr.net

Department of sedimentology of provinces of combustible minerals

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of sciences of Ukraine

tel.: +38 (032) 2634161

3a, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

LITHOFACIES FEATURES AND ACCUMULATING CONDITIONS OF MIDDLE DEVONIAN BASAL LAYERS OF DOBRUDJA FOREDEEP

The main purpose of this work is to identify lithofacies features and sedimentation conditions of basal thickness of Eifelian deposits within Bilolyskyi block of Dobrudja Foredeep. Methods include lithological interpretation of geological and geophysical materials, lithofacies and sedimentological analyses. Features of lithofacies zonality of Early Eifelian deposits have been determined. It has been shown that argillaceous sulphate sediments are mostly within Sariyarsko-Zhovtoyarska and Saratsko-Balabanivska anticlinal zones and carbonate sediments are in depressions. The reconstructions of environments of their sedimentation have been done, which showed irregular character of spatial age-specific development of formations of different facies zones of sulphate carbonate shelf. The supra-littoral territory was occupied by Sariyarsko-Zhovtoyarska and Saratsko-Balabanivska uplifts and bordered with rather narrow zones of littoral and upper sublittoral. The main part of Tuzlivska and Alibeiska depressions occupied lower sublittoral. Wedge-out of horizons of upper sublittoral with biostrome in the arch uplifts has been displayed. Scientific novelty. For the first time lithofacies zonality of Early Eifelian deposits and their environments have been done. Practical significance. Displayed wedge-out of horizons with biostrome in the arch uplifts may indicate non-anticlinal nature of hydrocarbon traps in Middle Devonian deposits, thus some corrections should be done in practice of oil and gas searching of this region.

Keywords: Dobrudja Foredeep, Middle Devonian, lithofacies, sulphate carbonate shelf, hydrocarbon traps.

V. Гнидец, канд. геол.-минералог. наук, ст. науч. сотруд.

E-mail: vgnidets@gmail.com

K. Григорчук, д-р геол. наук, зав. отделом

E-mail: kosagri@ukr.net

Л. Кошиль, вед. инж.

E-mail: koshillesia@gmail.com

М. Яковенко, канд. геол. наук, ученый секретарь Института

E-mail: myroslavakoshil@ukr.net

Отдел седиментологии провинций горючих ископаемых,

Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины,

тел.: +38 (032) 2634161

ул. Научная, 3-а, г. Львов, 79060, Украина

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ БАЗАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ДЕВОНА ПРЕДДОБРУДЖИНСКОГО ПРОГИБА

Цель работы заключается в определении литолого-фациальных особенностей и условий седиментации базальной толщи эйфельских отложений Белолесского блока Преддобруджинского прогиба. Методика включает литологическую интерпретацию геолого-геофизических материалов, литолого-фациальный и седиментологический анализы.

Результаты. Установлены особенности литолого-фациальной зональности отложений раннеэйфельского возраста. Показано, что в пределах Сарыярско-Желтоярской и Саратско-Балабановской антиклинальных зон развиты в основном глинисто-сульфатные отложения, а в депрессиях – карбонатные. Осуществлены реконструкции обстановок осадконакопления, которые показали неравномерный характер пространственно-возрастного развития образований различных фациальных зон сульфатно-карбонатного шельфа. Область супралиторали охватывала Сарыярско-Желтоярское и Саратско-Балабановское поднятия и была окаймлена неширокими зонами литорали и верхней sublittorали. Основную часть Тузовской и Алибейской впадин занимала нижняя sublittorаль. Выявлено выклинивание горизонтов верхней sublittorали с биостромами в сводах поднятий.

Научная новизна. Впервые установлена литолого-фациальная зональность отложений раннего эйфеля и выяснены обстановки их накопления.

Практическое значение. Обнаруженное выклинивание горизонтов с биостромами в сводах поднятий может указывать на неантиклинальную природу ловушек углеводородов в отложениях среднего девона, что требует внесения определенных корректив в практику ведения нефтегазопоисковых работ в регионе.

Ключевые слова: Преддобруджинский прогиб, средний девон, литофации, сульфатно-карбонатный шельф, ловушки углеводородов.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 550.8+549.6+550.4+550.8

S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua
I. Lazareva, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua
O. Zinchenko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E. Khlon, Engineer
E-mail: khlon@univ.kiev.ua
L. Gavryliv, PhD student
E-mail: liubomyr.gavryliv@gmail.com
A. Aleksieienko, PhD student
E-mail: scr315@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOCHEMICAL MODEL OF PRECAMBRIAN GRANITOID MAGMATIC EVOLUTION IN THE KOROSTEN PLUTON (UKRAINIAN SHIELD): PETROGENETIC ASPECTS AND GENESIS OF COMPLEX ORE MINERALIZATION IN METASOMATIC ZONES

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

Preliminary geochemical dataset for the granitoids (rapakivi, granite-porphyries, veined granites) of Korosten anorthosite-rapakivi granite pluton (Ukrainian Shield) was studied. The data set includes the results of all major and selected trace elements determinations (XRF, >300 samples), and is compared with melt crystallization and partial melting models of trace elements behavior. Only the Rayleigh model closely approximates the trace element data for granitoids. Typical incompatible behavior under approximately constant bulk distribution coefficient is determined for Rb ($D_{Rb} = 0,5$). Model f values (weight fraction of liquid in magma chamber) are calculated for each granitoid type (residual melt portion) from Rayleigh equation and Rb content in rocks (C_{Rb}) assuming minimum concentration in granitoids (169 ppm) as Rb content in parent magma (C_0^{Rb}). C vs. f curves for trace (including P, Ti, S, Cl, F, Ca) and major elements are approximated by means of equations of $C=C_0 \cdot f^{D-1}$ form or polynomial ones respectively. This set of equations is an idealized model of element behavior that demonstrates the depletion of Ba, Sr, Ti, Zr, P, S and enrichment of Th and Ga in the residual liquid as well as the inversion behavior of LREE, Y, F, Cl, Nb, Zn and Pb during the melt fractional crystallization in magma chamber. Monotonous decrease of both Zr and P content indicates melt saturation in zircon and apatite. Therefore, model temperature (T_{model}) of the melt is estimated from equations of zircon and apatite solubility. The temperature evolution in magma chamber was presented as T_{model} vs. f polynomial equation (T_{model} range: 900-720°C). Inversion in LREE content ($f = 0,185$) indicates the apatite/monazite replacement in the crystallizing assemblage. Water content in melt for this f value and corresponding T_{model} was calculated from equation of monazite solubility which demonstrates its high H_2O -dependence. $C_0^{H_2O} = 2,36$ wt% was estimated on this basis (assuming $D_{H_2O} = 0,1$) for the liquidus of initial granite melt ($P_{total} \sim 6,3$ kbar). According to designed model water saturation limit was reached at $f = 0,165$ and H_2O -fluid was extracted from the melt during its further evolution. Synchronous inversion of C/C_0 vs. f curves shows the enrichment of fluid with F, Cl, Nb, Zn, Pb etc. Such characteristics of fluid are in agreement with geochemical data for ore-bearing altered rocks and might testify for their genetic unity.

Keywords: granite, rapakivi, trace element, magmatic evolution, apatite, zircon, monazite, xenotime, solubility, water in melt, fluid extraction, altered rocks, ore mineralization.

Introduction. Korosten pluton (KP) is one of the largest and best studied magmatic complexes of Ukrainian Shield (USh). It occupies the northwestern part of it and covers an area of approximately 12000 km² [21, 54]. Pluton (fig. 1) comprises typical anorthosite-rapakivi granite association (ARGA) and represents complex multistage intrusive body with at least 50 Ma of emplacement history ($\approx 1,8-1,75$ Ga [6, 8, 28, 39]). Three main groups of rocks are distinguished at present erosional level: granitoids and related pegmatites (4 bodies that cover 75% of KP); gabbroids (3 large bodies); hybrid rocks, which formed as a result of gabbroic and granitic magma mixing according to [33]. Gabbroid and granitoid bodies themselves represent polyphase intrusions composed by rocks associations of different age [6, 10, 19, 20, 54 etc.]. Two anorthositic (A1, A2) and two gabbroic (G3, G4) phases are distinguished among the gabbroids, the earliest phase (A1) age is estimated as 1,8-1,784 Ga and later phases are believed to be 1,763-1,758 Ga [6, 33, 39, 54]. Three phases of granitic intrusions are confirmed for the KP [9, 18, 22, 27, 31]: γ^1 – rapakivi granites and biotite-amphibole rapakivi-like granites, γ^2 – subalkali biotite leucogranites and granite-porphyries, γ^3 – vein rare-metal microgranites and granite-porphyries, which are dated as 1767 $\pm$ 5, 1752 $\pm$ 16, 1737 $\pm$ 54 Ma respectively [22, 33]. Age of gabbro-monzonites and granosyenites (hybrid rocks) is estimated as 1760,7 $\pm$ 4,1 and 1763,8 $\pm$ 2,6 Ma respectively [33].

Long history of KP research [1, 5-16, 18, 20-25, 27, 28, 31-36, 39, 43, 54 etc.] led to formation of **two major models** of its formation. **First model** [1, 4 et al.] accepts fractional

crystallization of basic melt as leading mechanism of all rocks formation (especially granitic and gabbroic components). Model stands on the basis of evident spatial association of granitoids and gabbroids with hybrid rocks as transitional link as well as experimentally proved [51 etc.] possibility of such scenario. Nevertheless, the model poorly describes aforementioned datings and dominating position of granitic rocks in KP. **Second model** implies bimodal magmatism and lacks direct genetic relations between granitoids and gabbroids [5, 23 etc.]. Model suggests partial melting of granulitic substratum under the influence of mantle melts as main mechanism, which resulted in formation of peraluminous melts due to mixing of mantle and lower crust material. Basic rocks formation was initiated by intrusion of such melts in higher crust levels that was followed by formation of transitional chambers and differentiation in them. Granitoids are believed to be formed as a result of middle level crust melting by high-temperature basic magmas [21, 23 etc.]. Objective analysis points out that second model is better grounded and is also proved by data on deep crustal structure of northwestern part of USh obtained by a complex of modern geophysical methods modeling [14, 16, 54 etc.].

Therefore, conducted geological, petrologic and geophysical research allowed to suggest realistic models of KP formation and to assess conditions of leading rock types crystallization. According to mineral thermobarometry data [21], crystallization of A1 type anorthosites took place under $\sim 1000^\circ\text{C}$ temperature and depth of ~ 30 km or more. Similar

data on A2 type anorthosites yields temperature of 800-850°C and depth of ~18 km [21]. As for prevailing granites, mineral thermobarometry [1, 23] and fluid inclusions study [7, 13, 15, 25] suggests a wide range of depths (3 to 12 km) and temperatures (850-600°C for granitoids and 600-350°C for pegmatites) of crystallization, which corresponds to

upper continental crust level. However, introduced models [1, 4, 5, 14, 23, 54 etc.] suggest generation and subsequent differentiation of **granitic melts** in much deeper conditions. **The problem** is that mechanisms and conditions of such processes are insufficiently studied.

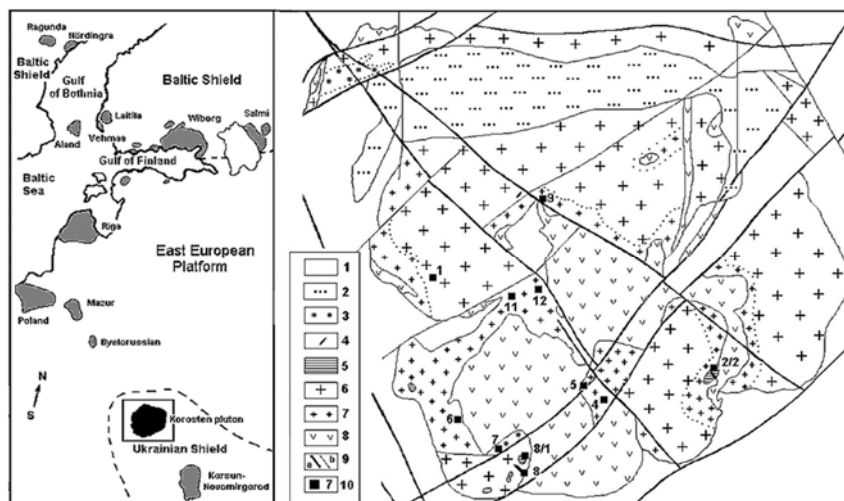


Fig. 1. Geological position and structure of Korosten Pluton. (a) Position of the Korosten pluton in the East European platform (after [1]). (b) Simplified geological map of Korosten Pluton [11, 27, 43], with this paper author's modifications:

- 1 – Early Proterozoic gneisses, migmatites, granites; 2 – sedimentary-volcanic rocks of the Ovruch group; 3 – altered rocks in tectonic zones (I – Suschano-Perga zone; II – Teterev zone); 4 – rare-metal granite dykes; 5 – granite porphyry; 6 – porphyritic coarse-grained rapakivi granites with minor ovoides (Amph+Bt, Bt); 7 – rapakivi granites with micro to large size ovoids (Amph+Bt±Px±Ol); 8 – anorthosites, gabbro-norites, gabbro-diabases. 9 – faults (a–regional, b–local); 10 – sampling locations with their numbers

In present paper authors make an attempt to solve the latter problem at an example of KP granitoid series by means of representative set of geochemical data complex analysis. Reaching the aim requires solving next tasks: (1) development of KP granitoids evolution geochemical model, (2) model evaluation of thermodynamic parameters and fluid mode of magma chamber evolution (3) assessment of granitic magma potential to generate high-temperature ore-bearing fluids able to large-scale metasomatic alteration of host rocks and mineral deposits formation.

Sampling and analytical techniques. All the granitic rocks of the Korosten pluton, taking into account the results of this paper as well as early published ones [12, 18, 20, 27, 31, 43 etc.] are classified into 11 main varieties (types) of rocks that are widely distributed all over the pluton. Each type is investigated in details, while main rock types constitute a simplified but a representative description of trace and major elements abundance variations within the Korosten pluton granitoids.

Locations of sampling with their numbers are shown in Fig 1. All the sampled types of rocks, with short description, are listed below (see Table 1) in an order of *f* parameter values reduction. A decrease of *f* parameter value obtained as a result of geochemical modelling is in correlation with the rock types relative emplacement ages. Each rock type is investigated by a number of ordinary point samples (n=19–25) to carry out element analysis and one bulk representative sample to make a detailed geochemical and mineralogical analysis. Bulk representative samples are additionally studied through thin sections and heavy mineral concentrates to establish complete mineralogical composition. The presence of trace amounts (up to separate grains concentration level) of accessory phases of zircon-apatite-monazite-xenotime association is checked during the research. Mineralogical investigation results are summarized in a concise description of rock types added to the Table 1.

Both ordinary and bulk representative samples are crushed, pulverized and analyzed by means of quantitative

X-ray fluorescence method (XRF) at the laboratory of Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine. Major oxides and selected trace elements (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃^{total}, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, S, Cl, Zr, Sr, Ba, Rb, Y, La, Ce, Nd, Nb, Th, Ga, Pb, Zn, Cu) are analyzed in each sample. The precision and accuracy of XRF method is verified by a replicate analysis of the rock standards of specially prepared reference samples set. Final calculations for each powdered sample are obtained as averages of individual powder pellets analysis with 3-5 measurements in case of point samples and 10-30 measurements in case of bulk ones. Thus, all 315 final calculations represent averages of more than 1500 analyses of powder pellets.

The latter analytical procedure made it possible to minimize analytical uncertainties that may arise in case of non-homogenous trace elements distribution in powdered samples. The best results (decreased n-fold) are obtained for P, LREE (La, Ce, Nd) and especially for Zr – the elements that form their own accessory phases of apatite, monazite and zircon. For all bulk samples total analytical uncertainty with a confidence level of 95% is estimated to be (in relative %): Si – 0.5-0.6%; Al, Fe, Na, K, Rb, Ba – 1.5-5%; Ti, Mn, Mg, Ca, P, Zr, Sr, Y, La, Ce, Nd – 5-10%; Nb, Pb, Th, Cu, Zn, Ga – 10-15% (up to 20-40% for ~20 ppm level); S, Cl – 15-30%. In case of point samples noticeable analytical uncertainty is noticed only for Zr (up to 15-25%). Other elements show lesser uncertainties (P, LREE etc.) or insignificant ones (major elements).

Representative whole-rock data set used for geochemical modelling is formed on the basis of analytical results. Each Korosten granitoids rock type includes (1) compositions calculated as averages of point samples analyses (see Table 3); (2) the composition of bulk (see Table 2) samples (22 whole-rock analyses in total). Representative data for F average content in rock types [27] is added to this set. Geochemical data set for altered rocks includes only the ordinary samples analyses.

Table 1

Localities and modal mineralogical composition of investigated granite types

Sample (rock type) No (No on Fig. 1)	f range	Rock type, locality	Rock-forming and accessory minerals content (vol. %)							Zr-P-LREE-Y accessory minerals association
			Fsp	Pl	Qtz	Hbl	Bt	Ol+Px	Acc	
95004 (4)	0,784-0,995	Rapakivi granite, village Mirnoye	48	18	21	7	3,5	0,5	2	Zrn+Ap
95006 (6)	0,875-0,877	Rapakivi granite, Volynsk pegmatite field	49	22	20	4,5	3	0,3	1,2	Zrn+Ap
95002/2 (2/2)	0,613-0,865	Rapakivi granite, town Malyn	45	21	20	8,5	3	0,3	2,2	Zrn+Ap
95005 (5)	0,721-0,734	Rapakivi granite, village Guta Potievka	54	14	24	4	1	n.d.	3	Zrn+Ap
95012 (12)	0,520-0,580	Rapakivi granite, town Korosten	51	8	34	2	1,5	0,1	3,4	Zrn+Ap
95011 (11)	0,406-0,426	Granite, village Schorsovka	59	7	29	0,9	1,2	0,4	2,5	Zrn+Ap
95009 (9)	0,347-0,408	Granite, village Ignatpol	48	16	30	1	3,5	n.d.	1,5	Zrn+Ap
96001 (1)	0,382-0,401	Granite, village Emelyanovka	50	15	29	1,5	3	n.d.	1,5	Zrn+Ap
95008/1 (8/1)	0,199-0,251	Granite-porphyry, village Andreevka	54	12	23	0,5	7	n.d.	3,5	Zrn+Ap+Mnz
95007 (7)	0,124-0,194	Autometamorphic granite, village Lezniky	52	14	28	1	3**	n.d.	2	Zrn+Mnz+Xnt
95008 (8)	0,029-0,038	Veined rare-metal granite, village Andreevka	31	28*	31	n.d.	7,5***	n.d.	2,5****	Zrn±Xnt

Notes: Fsp – K-feldspar, Pl – plagioclase (* albite), Qtz – quartz, Hbl – hornblende, Bt – biotite (** Li- biotite, *** zinnwaldite), Px+Ol – pyroxene+olivine (relic), Acc – accessory minerals (**** including $\leq 2.5\%$ topaz and $\leq 0.1\%$ other accessories), Zrn – zircon, Ap – apatite, Mnz – monazite, Xnt – xenotime; n.d. – not detected.

Modelling procedure and results.

Model options. Five idealized models of trace elements behaviour during melt crystallization and partial melting are suitable for geochemical modelling of real magmatic processes [29, 30, 38, 41, 44, 46, 50, 52 etc.]. These models, simplified for the case of constant bulk distribution coefficient, are presented below by equations (1) (Rayleigh fractional crystallization), (2) (equilibrium melt crystallization and batch melting), (3) (fractional partial melting with melt accumulation in magma chamber) and (4) (strict fractional partial melting):

$$C = C_0 \cdot f^{D-1}, \quad (1)$$

$$C = C_0 \cdot [D \cdot (1-f) + f]^{-1}$$

and

$$C = C_0^S \cdot [D \cdot (1-f) + f]^{-1}, \quad (2)$$

$$C = (C_0^S / f) \cdot [1 - (1-f)^{1/D}], \quad (3)$$

$$C = (C_0^S / D) \cdot (1-f)^{(1/D)-1}, \quad (4)$$

where C is the element concentration in the melt, C_0 and C_0^S – initial element concentration in the parent melt and parent solid rock respectively, D – bulk distribution coefficient for the element, f – weight fraction of liquid (melt) in the system.

To apply the general forms of these equations [44, 46] the value of D variations (dependent on the temperature, pressure, melt and solid phase composition) during magma evolution should be obtained. Due to absence of the latter data in practice, only simplified equations could be used in geochemical modelling. Generally, the models, designed on this base, are semiquantitative, but they demonstrate close approximation to magmatic evolution if D values for some compatible and (or) incompatible elements are approximately constant and might be determined.

Granitoids magmatic evolution is a typical example in this case. The temperature range and variations in melt and solid phase composition of granite-forming systems are less studied than those of basalt-forming ones. Therefore, approximately constant D values could be calculated for the elements with the distributional pattern controlled only by main rock-forming minerals. Rb and Sr are the typical elements of this group. According to the data available [2, 30], a set of D values may be suggested to be used in geochemical modelling of such typical geological

environments: (1) melt crystallization with K-feldspar and plagioclase as the main phases of the crystallizing assemblage ($D_{Rb}=0.5$, $D_{Sr}=2$), (2) partial melting at lower crustal level with plagioclase as the main restite phase ($D_{Rb}=0.1$, $D_{Sr}=2$). In case of partial melting at the upper mantle level (olivine and pyroxene as the main restite phases), $D_{Rb}=0.1$ and $D_{Sr}=0.1$ values are the most realistic estimations obtained. The latter set of D values is used in further modelling procedure.

The data available confirms contrary role (compatible and incompatible) of Rb and Sr (as well as Ba) during the formation of Korosten pluton granitoids (Fig. 2, a). Therefore, our data set for the Korosten pluton and the data sets of other granitoids complexes of the Ukrainian Shield [9], obtained by means of XRF and reported by [10, 12], were studied in comparison with the different model trends of melt crystallization and partial melting in order to choose between different models for the Korosten granitoid complex (Fig. 3, a). Model trends calculated are based on equations (1) – (4) assuming suggested D_{Sr} and D_{Rb} values (vide supra) for f that varies from 1.0 to 0.01. Both trends and granitoids data are plotted in Sr_{max}/Sr_{min} – Rb_{max}/Rb_{min} coordinates, where Sr_{max} , Rb_{max} and Sr_{min} , Rb_{min} are the elements maximum and minimum concentrations within the granitoids series for each complex or pluton. Only Rayleigh model (1), which is the most applicable for the granitoids [17, 23, 30] represents melt crystallization process on this plot. Other models (2) – (4) represent partial melting processes.

According to Fig. 3, a the Korosten pluton granitoids as well as all other granitoids complexes of the regions of Proterozoic activation and some complexes of gneiss-amphibolitic regions demonstrate a good agreement with Rayleigh model in case of $D_{Rb}=0.5$, $D_{Sr}=2$ (K-feldspar and plagioclase fractionation during the melt crystallization). Strong linear correlation (fig. 2, b) between the logarithms of Rb, Sr and Ba concentrations testify to the same result, as well as it shows the constant D_{Rb} , D_{Sr} and D_{Ba} values during the process of fractional crystallization. Coefficients values in a corresponding linear equation for Sr and Rb (fig. 2, b) confirm that $D_{Rb}=0.5$ and $D_{Sr}=2$ values are correct in a case of the Korosten pluton granitoids formation. Similar plot for all present data on Ukrainian Shield granitoids approximated to Rayleigh model (fig. 3, b) shows that these values are a good estimation in a general case too.

Table 2

Major and trace element composition of Korosten pluton main granitoids types (representative bulk samples)

Sample (rock type) No	95004	95006	95002/2	95005	95012	95011	95009	96001	95008/1	95007	95008
Major elements, wt%											
SiO ₂	71,73	72,88	72,84	73,69	73,22	75,45	76,81	75,16	75,72	76,35	78,16
TiO ₂	0,335	0,384	0,286	0,368	0,284	0,291	0,193	0,202	0,182	0,122	0,012
Al ₂ O ₃	13,48	12,16	12,9	11,95	12,96	11,56	11,35	12,6	11,73	11,51	11,91
Fe ₂ O ₃ ^{total}	3,46	3,642	3,19	3,491	2,81	2,685	1,97	2,06	2,44	2,06	0,929
MnO	0,045	0,049	0,042	0,039	0,039	0,037	0,033	0,033	0,03	0,027	0,032
MgO	0,134	0,147	0,134	0,196	0,233	0,138	0,107	0,104	0,079	0,056	0,039
CaO	1,639	1,476	1,445	1,142	1,03	0,945	0,63	0,766	0,888	0,853	0,074
Na ₂ O	3,229	3,484	3,264	3,152	3,53	3,003	3,08	3,36	3,39	3,49	4,61
K ₂ O	5,263	5,181	5,228	5,372	5,31	5,304	5,22	4,93	4,77	4,91	3,63
P ₂ O ₅	0,098	0,09	0,067	0,098	0,069	0,052	0,026	0,029	0,026	0,012	0,024
S	0,084	0,064	0,072	0,112	0,056	0,069	0,057	0,05	0,046	0,046	0,032
Cl	0,023	0,011	0,02	0,028	0,01	0,01	0,01	0,01	0,034	0,028	0,002
F	0,078	0,08	0,04	0,06	0,145	0,059	0,12	0,16	0,213	0,3	0,371
LOI (~H ₂ O ⁺)	0,047	0,057	0,201	0,037	0,022	0,183	0,223	0,318	0,223	0,052	<0,01
Trace elements, ppm											
Cu	23	20	23	22	27	23	23	20	22	19	17
Zn	91	80	91	101	84	85	82	94	122	100	64
Ga	20	21	21	18	19	23	17	23	20	25	24
Rb	191	181	182	199	222	265	265	274	379	384	864
Sr	131	107	101	81	74	49	24	39	30	13	5
Y	46	41	49	48	57	54	48	67	121	176	58
Zr	645	511	482	572	555	405	304	360	380	316	140
Nb	31	25	29	28	33	25	25	36	42	45	45
Ba	1440	1130	877	833	929	574	222	318	217	35	20
Pb	27	27	44	34	33	35	31	27	49	51	50
Th	8	11	15	9	18	15	22	21	33	18	36
La	93	67	70	81	87	73	78	93	134	105	13
Ce	145	114	124	119	158	117	139	166	234	142	13
Nd	57	51	54	51	56	52	49	61	80	43	19
Weight fraction of liquid (melt) in the system											
<i>f</i>	0,784	0,876	0,865	0,721	0,579	0,406	0,408	0,382	0,199	0,193	0,038

Notes: Fe₂O₃^{total} – all Fe as Fe₂O₃.

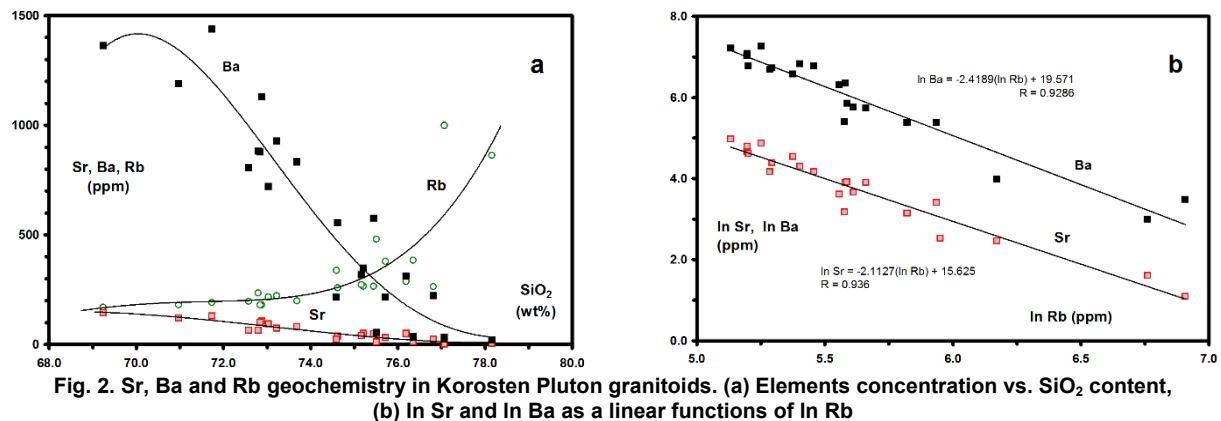


Fig. 2. Sr, Ba and Rb geochemistry in Korosten granitoids. (a) Elements concentration vs. SiO₂ content, (b) ln Sr and ln Ba as a linear functions of ln Rb

The opposite result was obtained for all granitoids complexes of the greenstone, gneiss-granulitic regions and some complexes of gneiss-amphibolitic regions of Ukrainian Shield [9]. As it is seen at Fig. 3, a the data of these complexes is in a good agreement with (2) and (3) partial melting models. According to the preliminary results of semiquantitative modelling (fig. 3, b) the granitoids of these complexes were presumably formed during the partial melting of plagioclase-bearing lower crust originally derived from mantle. Their crustal Sr and Nd isotopic composition, reported by [3, 11, 32, 43 etc.] confirms this assumption.

Major and trace elements behavior during magma evolution. Model *f* values for each granitoid type (residual melt portion) are calculated from Rayleigh equation (1), Rb content in rocks (*C_{Rb}*) assuming *K_{Rb}*=0.5 and a minimum Rb

abundance for all Korosten granitoids series (169 ppm) as initial Rb content in the parent magma (*C₀^{Rb}*):

$$f = (C/C_0)^{1/(D-1)} = (169/C_{Rb})^2. \quad (5)$$

All trace elements (including P, Ti, S, Cl, F, CaO) and major oxides (including M and D bulk composition parameters explained in the next paragraphs) are plotted against *f* (fig. 4-6) and approximated by means of equations of $C = C_0 \cdot f^{D-1}$ type or polynomial ones respectively. Only some major elements data for autometamorphic rocks (especially shown in Fig. 6, a, 6, c and 6, d) are excluded from the approximation.

In such a way, geochemical data set is transformed in a set of model equations (presented in Fig. 4-6), which contains the information about *D* and *C₀* (ppm) values for all determined trace elements. This set is an idealized model

of elements behavior during the melt fractional crystallization in magma chamber.

Idealized C vs. *f* plots (fig. 4, 5 and 6, a) demonstrate the monotonous decrease of Ba, Sr, S, Ti, Zr, CaO concentrations as well as P (almost over the whole range of *f* values) and the monotonous increase of Th and Ga in the residual liquid caused in both cases by their approximately constant bulk distribution coefficients (stable composition of the crystallizing

assemblage). Some elements (LREE=La+Ce+Nd, Y, F, Cl, Nb, Zn and Pb) demonstrate inverse behavior – their contents increase at first and then decrease later during crystallization or vice versa. The latter behavior can be explained by two processes: (1) the appearance of new accessory minerals in the crystallizing assemblage or (and) (2) metal-bearing fluid extraction from the melt.

Table 3

Major and trace element average composition of Korosten pluton main granitoids types (ordinary point samples)

Sample (rock type) No	95004	95006	95002/2	95005	95012	95011	95009	96001	95008/1	95007	95008
Major elements, wt%											
SiO ₂	69,24	70,97	73,03	72,58	72,80	74,62	76,19	75,21	74,59	75,51	77,07
TiO ₂	0,368	0,442	0,283	0,369	0,349	0,278	0,223	0,167	0,185	0,137	0,018
Al ₂ O ₃	14,29	13,26	12,77	12,74	12,22	12,50	11,85	12,52	12,65	11,79	12,87
Fe ₂ O ₃ ^{total}	4,08	4,27	3,26	3,61	3,58	2,55	2,31	2,16	2,27	2,61	0,92
MnO	0,049	0,060	0,045	0,047	0,043	0,043	0,042	0,029	0,03	0,027	0,037
MgO	0,171	0,178	0,133	0,173	0,231	0,135	0,128	0,105	0,092	0,052	0,038
CaO	1,991	1,586	1,322	1,281	1,114	0,975	0,5	0,88	0,772	0,9	0,084
Na ₂ O	3,47	3,39	3,29	3,26	3,46	3,19	3,01	3,415	3,45	3,38	4,96
K ₂ O	5,59	5,24	5,28	5,35	5,49	5,27	5,13	5,14	5,18	5,06	3,46
P ₂ O ₅	0,097	0,11	0,054	0,101	0,072	0,043	0,039	0,027	0,027	0,009	0,023
S	0,204	0,044	0,067	0,043	0,019	0,018	0,046	0,03	0,034	0,019	0,017
Cl	0,022	0,007	0,023	0,008	0,002	0,006	0,007	0,009	0,019	0,01	0,002
F	0,078	0,08	0,04	0,06	0,145	0,059	0,12	0,16	0,213	0,3	0,347
LOI (~H ₂ O+)	0,04	0,096	0,146	0,17	0,118	0,102	0,223	0,022	0,287	0,027	<0,01
Trace elements, ppm											
Cu	n.a.	n.a.	33	n.a.	n.a.	n.a.	23	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	n.a.	n.a.	103	n.a.	n.a.	n.a.	81	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ga	n.a.	n.a.	20	n.a.	n.a.	n.a.	19	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Rb	169	181	216	197	234	259	287	267	338	479	1000
Sr	145	121	95	65	64	37	50	50	23	12	3
Y	48	40	63	38	45	43	49	50	125	136	74
Zr	498	489	475	424	530	415	317	249	348	363	129
Nb	24	19	31	19	22	10	30	22	31	59	29
Ba	1363	1189	720	805	883	554	311	349	216	54	33
La	100	70	95	73	105	92	60	84	200	133	27
Ce	180	127	184	124	181	144	116	132	315	197	47
Nd	81	61	90	57	71	59	60	47	119	59	10
Pb	n.a.	n.a.	30	n.a.	n.a.	n.a.	32	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Th	n.a.	n.a.	16	n.a.	n.a.	n.a.	19	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Number of samples											
N	20	19	20	21	20	25	20	20	20	19	20

Notes: Fe₂O₃^{total} – all Fe as Fe₂O₃, n.a. – not analyzed.

Accessory minerals crystallization and estimation of the melt temperature. Monotonous decrease of Zr content (fig. 4, b, 7, a) indicates the saturation of the residual melt in zircon over the whole observed range of *f* values (*f*=1-0.01). The data on P content demonstrate more complicated situation. Hence, similar monotonous decrease of P content as well as saturation of the residual melt in apatite is noticed only for *f* values lying within the range of 1-0.185 (fig. 4, a, 7, a). According to model C vs. *f* plots and modal mineralogical composition of the investigated rock types (fig. 7, a, 7, b), inversion in LREE and Y content indicates the change of apatite to monazite and monazite to xenotime in the crystallizing accessory minerals assemblage. The most important parameters of the apatite/monazite replacement point are presented on Fig. 7.

In any cases, monotonous decrease of Zr and P content indicates saturation of the residual melt in both zircon and apatite over a wide range of *f* values (1-0.185). Therefore, temperature of the melt in magma chamber at moment of each residual melt portion (granitoids rock type) extraction is calculated using experimentally determined [45, 56] zircon (6) and apatite (7) solubility equations on a basis of melt composition obtained for Zr (ppm), P (ppm), M and D from the designed model equations (fig. 4 and 6):

$$\ln D_{Zr}^{Zrc/L} = [-3,80 - 0,85 \cdot (M-1)] + 12900 \cdot T^{-1}, \quad (6)$$

$$\ln D_P^{Apt/L} = [-3,1 - 12,4 \cdot (SiO_2 - 0,5)] + [8400 + 26400 \cdot (SiO_2 - 0,5)] \cdot T^{-1}, \quad (7)$$

where $D_{Zr}^{Zrc/L} = Zr^{Zrc}/Zr^L$, $D_P^{Apt/L} = P^{Apt}/P^L$ and Zr^{Zrc} , P^{Apt} , Zr^L , P^L – Zr and P content (ppm, wt%) in stoichiometric zircon, apatite and melt respectively, P^{Apt}

$M = \frac{Na+K+2Ca}{Al \cdot Si}$ (cation ratio of the melt), SiO₂ – weight

fraction of silica in the melt, T – absolute temperature (°K). T_{Zr} and T_P are the temperatures calculated from the equations (6) and (7) respectively. T_{model} is an average of T_{Zr} and T_P in a range of *f* from 1 to 0.185 and extrapolated to *f* = 0.02. T_{model} during the fractional crystallization within the estimated range of 900-720°C is presented in Fig. 7, c as T_{model} vs. *f* polynomial equation. According to this equation, T_{model} value for apatite/monazite replacement point is estimated to be 825 ± 20 °C (fig. 7, c).

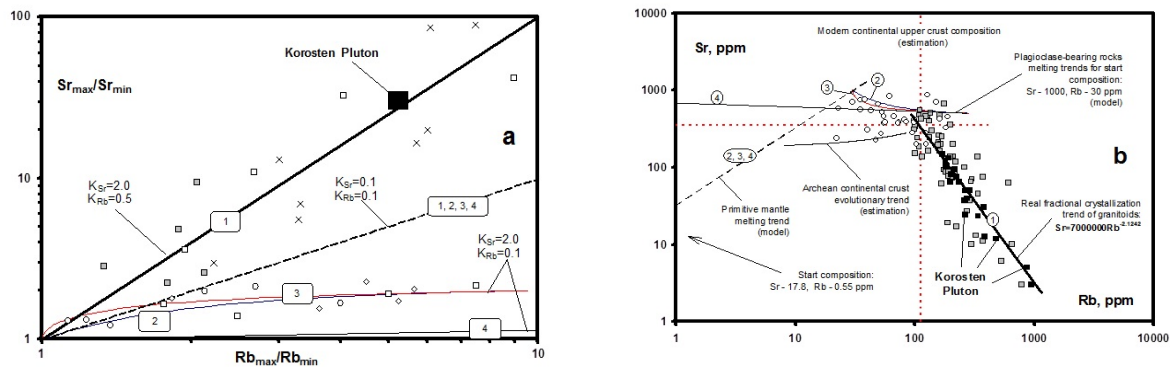


Fig. 3. Comparison of the data on Korosten Pluton and other granitoids of Ukrainian Shield with the model trends of melt crystallization and partial melting. (a) Open circles, rhombs and squares – granitoid complexes of greenstone, gneiss-granulitic and gneiss-amphibolitic regions respectively; full squares – granitoid complexes of the regions of Proterozoic activation; crosses – some typical differentiated complexes of the Earth [5]. (b) Full squares – Rayleigh model (1) approximated granitoid complexes. All estimations of Earth mantle and crust trace element composition are taken from [50]. See text for references and description of models (numbers in circles) and modelling procedure

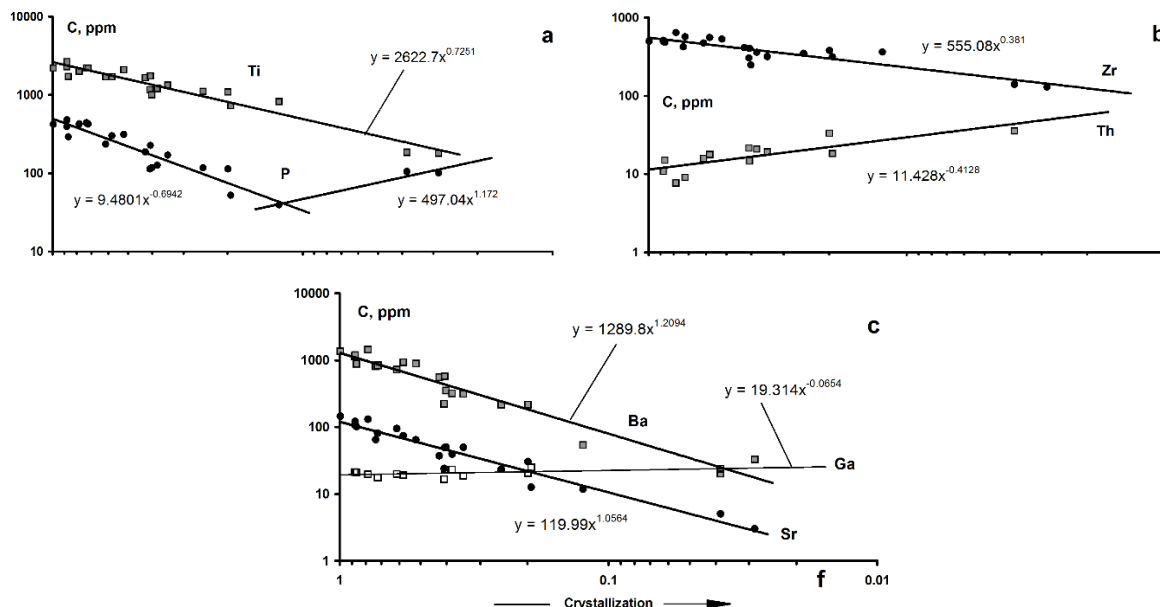


Fig. 4. P, Zr, Ti, Th, Ba, Sr, Ga concentrations in Korosten pluton granitoids vs. f

Estimation of water content in melt, liquidus point total pressure and the conditions of water-fluid extraction from the melt. The residual melt in apatite/monazite replacement point is characterized by saturation in both apatite and monazite accessory phases. Therefore, the occurrence of this replacement within the Korosten pluton granitoids evolution creates the possibility for water content estimation in melt under the certain conditions for this replacement point (fig. 7). For reaching the goal, a monazite solubility equation (8) which demonstrates a high H_2O -dependence of monazite solubility [49] is used:

$$\ln REE^L = 9.50 + 2.34 \cdot D + 0.3879 \cdot (H_2O)^{0.5} - 13318 \cdot T^{-1}, \quad (8)$$

where REE^L – LREE (La-Gd, excluding Eu) concentration (divided by atomic weight) in the melt, $D = \frac{Na+K+Li+2Ca}{Al \cdot (Al+Si)}$

(cation ratio of the melt), H_2O – water content in the melt (wt%), T – absolute temperature (K).

As a result, C_{H_2O} in apatite/monazite replacement point ($f=0.185$, $T_{model}=825^\circ C$, $D=1.148$, $LREE=404.6$ ppm) is estimated to be 10.77 wt% (fig. 8, a). $C_0^{H_2O}$ is calculated from the equation (1) assuming $D_{H_2O}=0.1$ and it equals

12.36 wt%. The latter water content at the liquidus of initial granite melt corresponds to total pressure (P_{total}) of approximately 6.3 kbar [30, 47].

According to Rayleigh equation (1) for the conditions of the designed model ($C_0^{H_2O} = 2.36$ wt%, $D_{H_2O}=0.1$) and assuming both approximate temperature dependence on water solubility in albite melt [48] and water solubility in granite melt under $P_{total}=6.3$ kbar reported by [30, 47], water saturation limit was reached at $f=0.165$ (fig. 8, a). After this moment H_2O -fluid was extracted from the melt during its further evolution.

Water-fluid composition and its comparison with composition of altered rocks. The beginning of water-fluid extraction from the melt ($f=0.165$) and f values estimated for model C/ C_0 vs. f plots inversions are almost synchronous for F and Cl as well as for such typical polymetallic and rare elements as Zn, Pb and Nb (fig. 8, b). The latter phenomenon testifies to high F and Cl content in extracted H_2O -fluid and shows its enrichment in these elements. Such characteristics of extracted fluid as well as expected high Rb and low Sr and Ba content are in agreement with geochemical data obtained for ore-bearing altered rocks from metasomatic zones associated with Korosten pluton [19, 24, 36 etc.] and testify to their genetic unity.

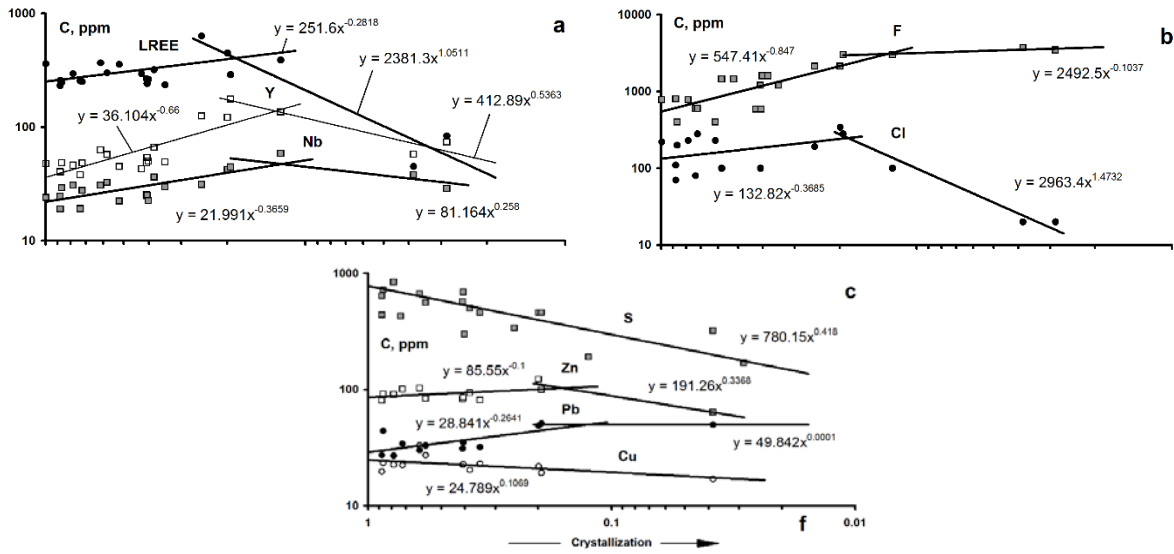


Fig. 5. LREE, Y, Nb, Zn, Pb, Cu, S, Cl and F concentrations in Korosten pluton granitoids vs. f

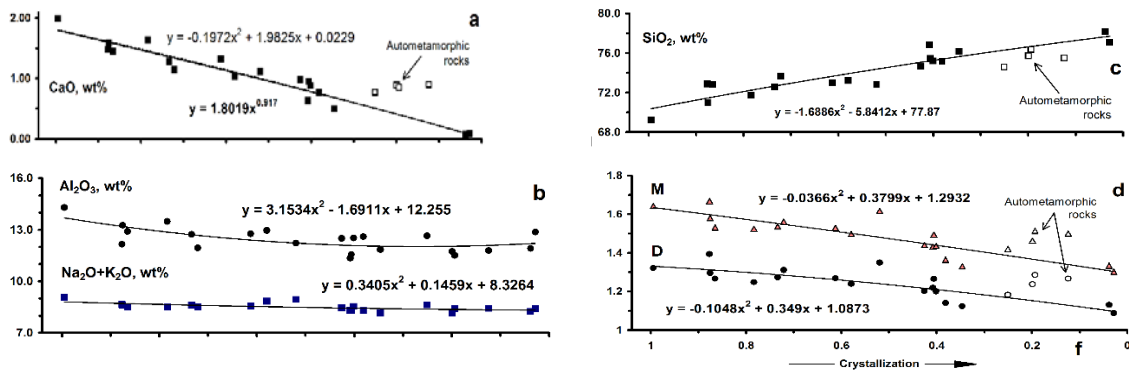


Fig. 6. Selected major elements concentrations and values of M and D bulk composition parameters in Korosten pluton granitoids vs. f

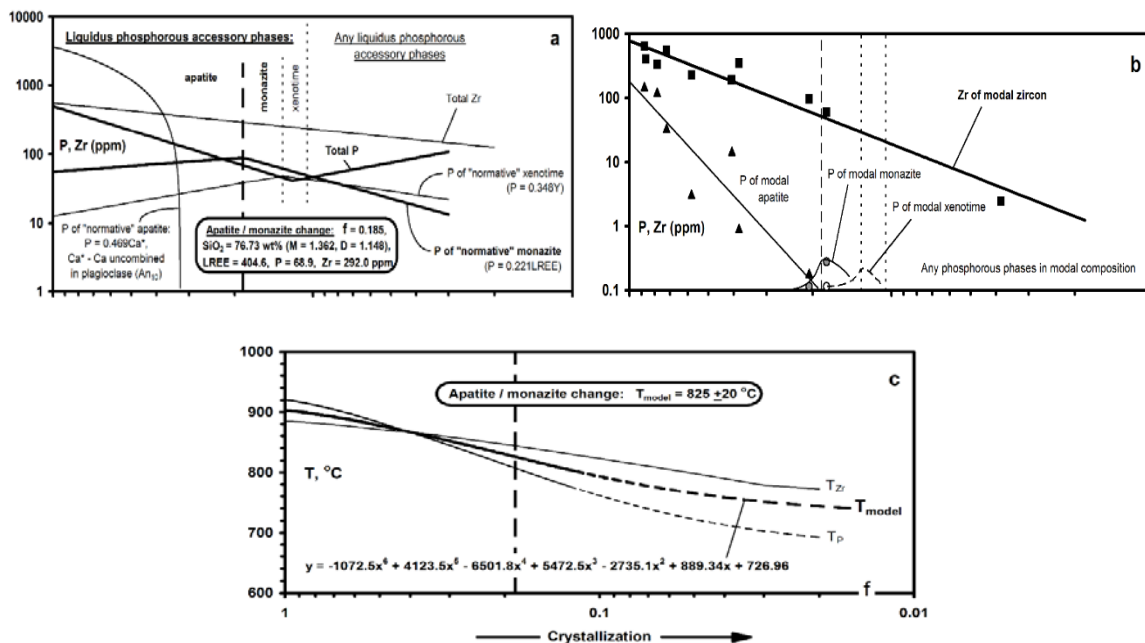


Fig. 7. Evolution of liquidus accessory phases assemblage during the crystallization in magma chamber according to the results of geochemical modelling (a) and modal composition of rocks (b). The estimations of melt composition and temperature in apatite/monazite replacement point are shown on plots (a) and (c) respectively. T_{Zr} and T_P are calculated according to zircon and apatite solubility equations. T_{model} estimated as average of T_{Zr} and T_P in range of f from 1 to 0,185 and extrapolated to $f = 0,02$. See text for equations and references

Discussion. Elaborated geochemical model establish the key role of fractional crystallization in the Korosten pluton

granitoids formation. It indicates the saturation of the initial rapakivi granite melt in both zircon and apatite as well as the

latest differentiates in monazite or xenotime. Some important parameters of magmatic evolution are estimated on this basis. These parameters include: (1) total pressure (P_{total}) of initial melt generation level ($P_{\text{total}} \sim 6.3$ kbar); (2) temperature of the initial melt ($T_{\text{model}} = 900^\circ\text{C}$) and its decrease during the magma differentiation (total range: 900 – 720°C); (3) water content in the initial melt ($\text{H}_2\text{O}_{\text{model}} = C_0^{\text{H}_2\text{O}} = 2.36$ wt%) as well as water content during further magmatic evolution up to the moment of aqueous metal-bearing fluid extraction from the latest differentiates ($\text{H}_2\text{O}_{\text{model}} = 10.77$ wt%). Finally, the ability of the granitic magma to be the source of high-temperature ore-bearing fluids is demonstrated.

The evaluations obtained are in a good agreement with

P values and water content estimations reported by [40] for initial melt of Fennoscandian rapakivi batholiths ($P = 5$ – 6 kbar, $\text{H}_2\text{O} = 2.5$ wt%). The only differences are in maximum T values reported in this paper (900 and 780°C respectively). In general, it is in order, because zircon, apatite and monazite saturation temperatures are consistent with the residual melts temperatures at the moment of their partition off the solid phase in magma chamber during initial melt fractional crystallization. Therefore, T_{model} is the maximum magma temperature. However, higher T (T_{model}) values obtained in this work could be caused by partly inherited (relict) origin of zircon and apatite. Inherited accessory minerals concentrations must be taken into account in further saturation temperatures evaluations.

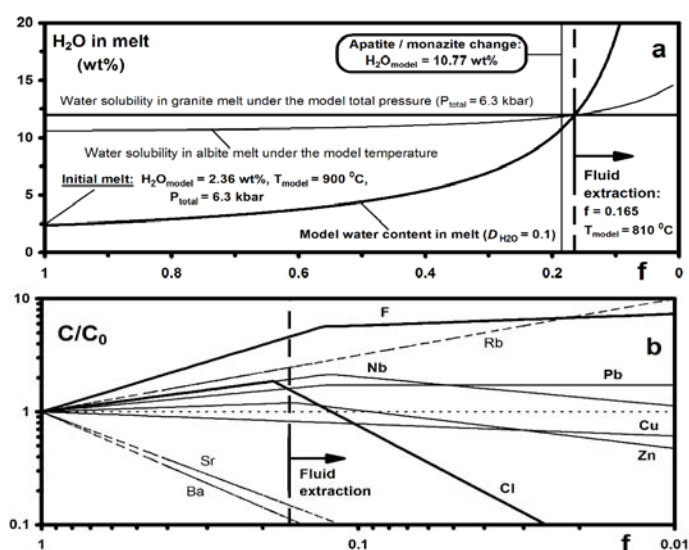


Fig. 8. Conditions of the water-fluid extraction from the melt (a) estimated by assuming Rayleigh fractionation for $D_{\text{H}_2\text{O}}=0.1$. Water content ($\text{H}_2\text{O}_{\text{model}}$) in apatite/monazite change point were calculated from T_{model} and D bulk composition parameter values according to monazite solubility equation. Inversion in C/C_0 curves (b) demonstrates the enrichment of water-fluid with Cl, F and ore elements (Zn, Nb, Pb etc.). Similar curves for Sr, Ba and Rb show the low $(\text{Sr}+\text{Ba})/\text{Rb}$ ratio in fluid. See text for equations and references

In addition, our data must be compared with determination of trace elements and all volatile components content in melt inclusions reported by [7, 15, 25] for pegmatites of the Korosten pluton region. Reported in [15] precise determinations constitute the most correct direct information about the pegmatite melt composition ($\text{H}_2\text{O} = 7$ wt%, $\text{F} = 5.1$ wt%, $\text{Cl} = 0.3$ wt%, enrichment in Li, Rb, Cs, Sn, Nb, U, Th and depletion in Ti, P, Zr, Sr, Ba, REE). This data lies in agreement with our model evaluations for the water, other volatile and trace elements content in the latest differentiates of Korosten granitic magma.

Conclusions. (1) Some important parameters of magmatic evolution were estimated for the Korosten pluton granitoids on a basis of geochemical modelling. Model evaluations are in a good agreement with authentic data independently obtained for Korosten pluton and similar rapakivi granite complexes by other researchers.

(2) Not only whole-rock but equilibrated widespread accessory minerals assemblages (zircon+apatite, zircon+monazite etc.) trace elements geochemistry investigations are necessary to increase modelling procedure precision [26, 34, 37]. Also the inherited accessory minerals concentrations must be taken into account in further saturation temperatures evaluations.

(3) Similar geochemical modelling may serve as a powerful tool for other granitoid complexes investigations and economic mineralization prospecting [42, 55].

Authors consider results published in this paper to be preliminary. Reliability enhancement requires involvement of significantly larger amount of geochemical data, which accounts for all major rock types of KP.

Acknowledgements. This work was supported by the Scientific Research Department of the Taras Shevchenko National University of Kiev throughout grant 0116U004784. The authors thank V.G.Molyavko for numerous consultations and sincere interest in this work as well as A.V. Andreev and V.V. Zagorodny for the significant assistance in analytical investigations.

Список використаних джерел

1. Анортосит-рапакивігранітна формація Восточно-Європейської платформи: монографія / Д. А. Великославинський, А. П. Биркис, О. А. Богатики і др. – Л.: Наука, 1978. – 296 с.
2. Антипин В.С. Коефіцієнти розподілу рідких елементів в магматичних породах: монографія / В. С. Антипин, В. І. Коваленко, І. Д. Рябчиков. – М.: Наука, 1984. – 251 с.
3. Артеменко Г.В. Еволюція кислого магматизма в зеленосланцевих поясах Українського щита і Воронежського кристалічного масива / Г. В. Артеменко // Мінералог. журн. – 1997. – 19. – № 2. – С. 52–59.
4. Богатики О.А. Магматичні горні породи. Кислі і середні породи / О. А. Богатики, С. В. Богданова, А. М. Борсук і др. – М.: Наука, 1987. – 374 с.
5. Бухарев В.П. Еволюція докембрійського магматизма західної частини Українського щита / В. П. Бухарев. – К.: Наук. думка. – 1992. – 152 с.
6. Верхогляд В.М. Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона / В.М. Верхогляд // Геохимия и рудообразование. – 1995. – Вып. 21. – С. 34–47.

7. Возняк Д.К. Фізико-хімічні умови формування та особливості локалізації заноришів пегматитів Волині (Український щит) / Д. К. Возняк, В. І. Павлішин // *Мінералог. журнал.* – 2008. – № 1, Т. 30. – С. 5–20.
8. Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Протерозой. / Н. П. Щербак, Г. В. Артеменко, И. М. Лесная и др. – Киев : Наук. думка. – 2008. – 240 с.
9. Гранитоиды Украинского щита: петрохимия, геохимия, рудоносность: Справочник / К. Е. Есипчук, В. И. Ораса, И. Б. Щербаков, и др. – Киев : Наук. думка, 1993. – 231 с.
10. Гранитоидные формации Украинского щита / И. Б. Щербаков, К. Е. Есипчук, В. И. Ораса и др. – Киев : Наук. думка, 1984. – 191 с.
11. Довбуш Т.И. Результаты изучения докембрийских пород западной части Украинского щита Sm-Nd изотопным методом / Т. И. Довбуш, В. М. Скобелев, Л. М. Степанюк // *Мінералог. журн.* – 2000. – Вып. 22, № 2/3. – С. 132–142.
12. Есипчук К.Е. Петролого-геохимические основы формационного анализа гранитоидов докембрия / К. Е. Есипчук. – Киев : Наук. думка, 1988. – 263 с.
13. Зінченко О.В. Новый прояв топаз-цинвальдитових гранітів в Коростенському плутоні / О. В. Зінченко, І. І. Лазарева // *Геологія і магматизм докембрію Українського щита.* 36. наук. праць ІГМР НАН України. – К., 2000. – С. 85–87.
14. Ильченко Т.В. Скоростная модель земной коры и верхов мантии Коростенского плутона (Украинский щит) и ее геологическая интерпретация (по профилю ГСЗ Шелетовка – Чернигов) / Т. В. Ильченко, В. П. Бухарев // *Геофиз. журн.* – 2001. – Т. 23, № 3. – С. 72–82.
15. Коваленко В.И. Магма пегматитов Волини: состав и параметры кристаллизации по данным изучения включений минералообразующих сред / В. И. Коваленко и др. // *Петрология.* – 1996. – Т. 4, № 3. – С. 295–309.
16. Костенко М.М. Глибина будова земної кори північно-західної частини Українського щита вздовж геотрансекту євробридж-97 за результатами комплексної інтерпретації геолого-геофізичних даних. Стаття 1. Аналіз існуючих моделей будови земної кори / М. М. Костенко, В. І. Трегубенко, С. Г. Лоницька // *Мінеральні ресурси України.* – 2011. – № 1. – С. 20–29.
17. Кривовичев В.Г. Геохимическая модель формирования редкометалльных гранитных пегматитов / В. Г. Кривовичев // *Записки ВМО.* – 1989. – Ч. 118. – Вып. 4. – С. 1–12.
18. Личак И.Л. Петрология Коростенского плутона / И. Л. Личак. – Киев : Наук. думка, 1983. – 284 с.
19. Металиди С.В. Суцано-Пержанская зона (геология, минералогия, рудоносность): монография / С. В. Металиди, С. В. Нечаев. – Киев : Наук. думка, 1983. – 135 с.
20. Митрохин О.В. Петрографічний склад комплексів анортозит-рапаківігранітної формації / О. В. Митрохин // *Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія.* – 2008. – Вип. 45. – С. 62–66.
21. Митрохин А.В. Полибарическая кристаллизация анортозитов Коростенского плутона (Украинский щит) / А. В. Митрохин, С. В. Богданова, Л. В. Шумлянський // *Мінералог. журн.* – 2008. – Т. 30, № 2. – С. 36–56.
22. Митрохин А.В. Петрология Малинского массива рапакиви (Коростенский плутон) / А. В. Митрохин, С. В. Богданова, Е. В. Билан // *Мінералог. журн.* – 2009. – Т. 31, № 2. – С. 66–81.
23. Митрохин О.В. Анортозит-рапаківігранітна формація Українського щита: автореф. дис. ... докт. геол. наук: спец. 04.00.01 / О. В. Митрохин; [Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка]. – К., 2011. – 36 с.
24. Нечаев С.В. Металлогения раннего докембрия и рифея-протерозоя Украинского щита / С. В. Нечаев // *Мінералог. журн.* – 1998. – Вып. 20. – С. 88–99.
25. Оксифлюоцит (Ce) камерних пегматитів Волині (Український щит) / Д. К. Возняк, В. М. Бельський, О. А. Вишневський та ін. // *Мінералог. журн.* – 2017. – Т. 39, № 3. – С. 3–16.
26. Петрологический анализ геохимии акцессорных цирконов и апатитов из гранитоидов Роховецкой интрузии (Словакия) // С. Е. Шнюков, И. Гатар, А. В. Андреев и др. // *Геолог. журн.* – 1993. – № 1. – С. 30–41.
27. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита : монография / К. Е. Есипчук, Е. М. Шеремет, О. В. Зінченко и др. – Киев : Наук. думка, 1990. – 236 с.
28. Пономаренко А.Н. Геохронология и геодинамика палеопротерозоя Украинского щита. / А. Н. Пономаренко, Л. М. Степанюк, Л. В. Шумлянський // *Мінералог. журн.* – 2014. – 36, № 2. – С. 48–60.
29. Рябчиков И.Д. Термодинамический анализ поведения малых элементов при кристаллизации силикатных расплавов : монография / И. Д. Рябчиков. – М. : Наука, 1965. – 120 с.
30. Рябчиков И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм : монография / И. Д. Рябчиков – М. : Наука, 1975. – 232 с.
31. Соболев В.С. Петрология восточной части сложного Коростенского плутона / В. С. Соболев // *Учен. зап. Львовск. ун-та. Геология.* – 1947. – Вып. 5. – С. 1–139.
32. Уран-свинцевий вік жильних гранітоїдів Середнього Побужжя / Л. М. Степанюк, О. В. Грінченко, В. М. Загнітко та ін. // *Допов. НАН України.* – 1996. – № 11. – С. 129–133.
33. U-Pb ізотопний вік цирконів з гібридних порід Коростенського анортозит-рапаківігранітного плутону. / О. Билан, О. Митрохин, Л. Шумлянський та ін. // *Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія.* – 2016. – Вип. 74, № 3. – С. 6–10.
34. Шнюков С.Е. Геохимия "сквозных" сосуществующих акцессорных минералов и ее роль в исследовании эндо- и экзогенных геологических процессов / С. Е. Шнюков, А. К. Чебуркин, А. В. Андреев // *Геолог. журн.* – 1989. – Т. 49, № 2. – С. 107–114.
35. Шнюков С.Е. Геохимические модели эволюции магматических систем и земной коры: потенциальный источник петрофизической и рудогенетической информации / С. Е. Шнюков // *Геофизический журнал.* – 2002. – Т. 24, № 6. – С. 201–219.
36. Шнюков С.Е. Геохімічне моделювання в дослідженні генетичного зв'язку магматичних комплексів та просторово асоційованих з ними гідротермально-метасоматичних рудних родовищ / С. Е. Шнюков, І. І. Лазарева // 36. наук. праць УкрДГРІ. – 2002. – № 1. – С. 128–143.
37. Шнюков С.Е. Наскрізнні акцесорні мінерали в геохімічному моделюванні магматичних процесів / С. Е. Шнюков // 36. наук. праць УкрДГРІ. – 2001. – № 1–2. – С. 41–53.
38. Allegre C.J. Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes / C. J. Allegre, J. F. Minster // *Earth and Planetary Science Letters.* – 1978. – V. 38. – P. 1–25.
39. Dovbush, T.I. Some remarks on the origin of the Korosten anorthosite-rapakivi granite complex as based on isotope data / T. I. Dovbush, V. M. Skobelev // *Geophysical Journal.* – 2000. – V. 22. – P. 84–85.
40. Eklund O. The origin of rapakivi texture by sub-isothermal decompression / O. Eklund, A. D. Shebanov // *Precambrian Research.* – 1999. – V. 95. – P. 129–146.
41. Gast P.W. Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types / P. W. Gast // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1968. – V. 32. – P. 1057–1086.
42. Gavryliv L. Geochemical behavior of major and trace elements during magma evolution process in Bodie Hills Volcanic Field, Nevada / L. Gavryliv, S. Shnyukov, I. Lazareva // XV-th International Conference "Theoretical and Applied Aspects" (May 10–13, 2016, Kiev, Ukraine). – Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=84616>
43. Geochronological constraints on the emplacement history of an anorthosite-rapakivi granite suite: U-Pb zircon and baddeleyite study of the Korosten complex, Ukraine / Yu. V. Amelin, L. M. Heaman, V. M. Verchoglyad, V. M. Skobelev // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 1994. – V. 116. – P. 411–419.
44. Greenland L.P. An equation for trace element distribution during magmatic crystallization / L. P. Greenland // *Am. Miner.* – 1970. – V. 55. – P. 455–465.
45. Harrison T.M. The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations / T. M. Harrison, E. B. Watson // *Geochim. et Cosmochim.* – 1984. – Acta 48 – P. 1467–1477.
46. Hertogen J. Calculations of trace element fractionation during partial melting / J. Hertogen, R. Gijbels // *Geochim. et Cosmochim.* – 1976. – Acta 40. – P. 313–322.
47. Maximum and minimum water contents of granitic melts generated in the crust: a revaluation and implications. / F. Holtz, W. Johannes, N. Tamic, H. Behrens // *Lithos.* – 2001. – V. 56. – P. 1–14.
48. McMillan P.F. Water solubility in aluminosilicate melts. *Contrib. Mineral. / P. F. McMillan, J. R. Holloway // Petrol.* – 1987. – 97. – P. 320–332.
49. Montel J.M. A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas / J. M. Montel // *Chemical Geology.* – 1993. – V. 110. – P. 127–145.
50. Neumann H. Trace element variation during fractional crystallisation as calculated from the distribution law / H. Neumann, J. Mead, C. J. Vitaliano // *GCA.* – 1954. – № 6. – P. 90–99.
51. Pressure effects, kinetics, and rheology of anorthositic and related magmas. / J. Longhi, M. S. Fram, J. Vander Auwera, J. N. Montieth // *Am. Mineral.* – 1993. – V. 78. – P. 1016–1030.
52. Shaw D.M. Trace element fractionation during anatexis / D.M. Shaw // *Geochim. et Cosmochim.* – 1970. – Acta 34. – P. 237–243.
53. Soesoo A. Fractional crystallization of mantle-derived melts as a mechanism for some I-type granite petrogenesis: an example from Lachlan Fold Belt, Australia. / A. Soesoo // *J. Geol. Soc. London.* – 2000. – V. 157. – P. 135–149.
54. The 1.80-1.74-Ga gabbro-anorthosite-rapakivi Korosten Pluton in the Ukrainian Shield: a 3-D geophysical reconstruction of the deep structure / S. V. Bogdanova, I. K. Pashkevich, V. B. Buryanov et al. // *Tectonophysics.* – 2004. – V. 381. – P. 5–27.
55. Volcanoes of Antarctica as object of geological and ecological research at an example of Deception Island / I. Lazareva, S. Shnyukov, E. Hlon et al. // *Materials of XI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"* (October 11–14, 2017, Kyiv, Ukraine).
56. Watson E.B. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types / E. B. Watson, T. M. Harrison // *Earth and Planetary Science Letters.* – 1983. – V. 64. – P. 295–304.

References

1. Velikoslavinsky, D.A., Birkis, A.P., Bogatkov, O.A., Bukharev, V.P., Velikoslavinsky, S.D., Gordienko, L.I., Zinchenko, O.V., Kivisilla, Ya.Ya., Kirs, Yu.E., Kononov, Yu.V., Levitsky, Yu.F., Niin, M.I., Puura, V.A., Khvorov, M.I., Shustova, L.E. (1978). The anorthosite-rapakivi granite formation of the East European platform. Leningrad: Nauka Press, 296. [in Russian].
2. Antipin, V.S., Kovalenko, V.I., Ryabchikov, I.D. (1984). Distribution coefficients of rare elements in magmatic rocks. Moscow: Nauka Press, 251. [in Russian].
3. Artemenko, G.V. (1997). Granitoidmagmatism evolution of greenstone belts of the Ukrainian Shield and adjacent Voronezh crystalline massifs. *Mineralogical Journal*, 19, 4, 89–92. [in Russian].
4. Bogatkov, O.A., Bogdanova, S.V., Borsuk, A.M. et al. (1987). Magmatic rocks: Vol. 4. Acid and mediosilicic rocks. Moscow: Nauka Press, 374. [in Russian].

5. Bukharev, V.P. (1992). Evolution of precambrian magmatism of western part of Ukrainian Shield. K.: Nauk. dumka, 152. [in Russian].
6. Verchoglyad, V.M. (1995). Age stages of magmatic processes of the Korosten pluton. *Geochemistry and ore formation*, 21, 34-47. [in Russian].
7. Voznyak, D. K., Pavlishin, V.I. (2008). Physical-chemical condition of formation and localization features of miarolitic (chamber) pegmatites of Volyn (Ukrainian Shield). *Min. Journ.*, 1, 30, 5-20. [in Ukrainian].
8. Sherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M. et al. (2008). Geochronology of early Precambrian Ukrainian Shield. *Proterozoic*. Kiev: Nauk. dumka, 240. [in Russian].
9. Espichuk, K.E., Orsa, V.I., Scherbakov, I.B., Sheremet, E.M., Skobelev, V.M., Ryabokon, V.V., Galitsky, L.S., Panov, B.S., Yushin, A.A., Bochay, L.V., Golub, E.N., Demyanenko, V.V., Buchinskaya, K.M., Sveshnikov, K.I., Sukhorukov, Yu.T., Scherbak, D.N., Osadchy, V.K., Piya, Yu.K., Samchuk, A.I., Kushnir, A.S., Andreev, A.V., Cheburkin, A.K. (1993). Granitoids of the Ukrainian Shield: petrochemistry, geochemistry and ore deposits (reference book). Kiev: Naukova Dumka, 231. [in Russian].
10. Scherbakov, I.B., Espichuk, K.E., Orsa, V.I., Usenko, I.S., Bartnitsky, E.N., Golub, E.N., Gorlitsky, B.A., Kirillov, S.P., Zabiya, L.I., Tsarovskiy, I.D., Osadchy, V.K. (1984). Granitoid formations of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 191. [in Russian].
11. Dovbush, T.I., Skobelev, V.M., Stepaniuk, L.M. (2000). Results of Sm-Nd investigation of the Precambrian rocks of western parts of the Ukrainian Shield. *Mineralogical Journal*, 22, 2/3, 132-142. [in Russian].
12. Espichuk, K.E. (1988). Petrological and geochemical fundamentals of formational analysis of Precambrian granitoids. Kiev: Naukova Dumka, 263. [in Russian].
13. Zinchenko, O.V., Lazareva, I.I. (2000). New manifestation of topaz-zinnvaldite granites in the Korosten pluton. In: *Geology and magmatism of Precambrian of the Ukrainian Shield*. Kiev, 185-187. [in Ukrainian].
14. Ilchenko, T.V., Buharev, V.P. (2001). Velocity model of earth crust and upper mantle of Korosten Pluton (Ukrainian Shield) and its geological interpretation (along GSZ Shepetovka – Chernihiv profile). *Geophysical Journal*, 3, 23, 72-82. [in Russian].
15. Kovalenko, V.I., Tsareva, G.M., Naumov, V.B., Hervig, R., Newman, S. (1996). Magma of the Volyn pegmatites: composition and crystallization parameters obtained by mineralogical inclusions investigations. *Petrologia*, 4, 3, 295-309. [in Russian].
16. Kostenko, M.M., Tregubenko, V.I., Lonycka, S.G. (2011). Deep structure of northwestern part of Ukrainian Shield's earth crust along geotranssect eurobridge-87 by results of complex interpretation of geological-geophysical data. Article 1. Analysis of existing models of earth crust structure. *Mineral resources of Ukraine*, 1, 20-29. [in Ukrainian].
17. Krivovichev, V.G. (1989). Geochemical model for rare-metal granite pegmatites formation. *Zapisky Vserossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, 4, 1-12. [in Russian].
18. Lichak, I.L. (1983). Petrology of the Korosten Pluton. Kiev: Naukova Dumka, 284. [in Russian].
19. Metalidi, S.V., Nechaev, S.V. (1983). Suschano-Perga area (geology, mineralogy and ore deposits). Kiev: Naukova Dumka, 135. [in Russian].
20. Mytrohyn, O.V. (2008). Anorthosite-rapakivi-granite association complexes petrographic composition. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 45, 62-66. [in Ukrainian].
21. Mytrohyn, O.V., Bogdanova, S.V., Shumlyanskiy, L.V. (2008). Polybaric crystallization of Korosten pluton anorthosites (Ukrainian Shield). *Mineralogical Journal*, 30, 2 36-56. [in Russian].
22. Mytrohyn, O.V., Bogdanova, S.V., Bilan, E.V. (2009). Petrology of Malin rapakivi massive (Korosten pluton). *Mineralogical Journal*, 31, 2, 66-81. [in Russian].
23. Mitrokhin, O. V. (2011). Anorthosite-rapakivi granite association of Ukrainian Shield: Autoref. Dis. ... doc. of Geol. Sci.: spec. 04.00.01. Taras Shevchenko National University of Kyiv. K., 36. [in Ukrainian].
24. Nechaev, S.V. (1998). Early Precambrian and Riphean-Phanerozoic metallogeny of the Ukrainian Shield. *Mineralogical Journal*, 20, 88-99. [in Russian].
25. Voznyak, D.K., Belsky, V.M., Vyshnevskyy, O.A., Ilchenko, K.O., Kurylo S.I. (2017) Oxyfluorite of chamber pegmatites of Volyn (the Ukrainian Shield). *Mineralogical Journal*, 3, 39, 3-16. [in Ukrainian].
26. Shnyukov, S.E., Hatar, J., Andreev, A.V., Gregush, J., Cheburkin, A.K., Savenok, S.P. (1993). Petrological analysis of accessory zircon and apatite geochemistry in granitoids of Rochovce intrusion (Slovakia). *Geological Journal*, 1, 30-41. [in Russian].
27. Espichuk, K.E., Sheremet, E.M., Zinchenko, O.V., Bobrov, A.B., Borko, V.N., Bukharev, S.V., Vasilchenko, V.V., Verchoglyad, V.M., Golub, E.N., Demyanenko, V.V., Zhebrovskaya, E.I., Orsa, V.I., Panov, B.S., Razdorzhny, V.F., Sveshnikov, K.I., Skobelev, V.M., Scherbak, D.N. (1990). Petrology, geochemistry and ore mineralization of intrusive granitoids of Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 236. [in Russian].
28. Ponomarenko, A.N., Stepaniuk, L.M., Shumlyanskiy, L.V. (2014). Geochronology and geodynamics of Paleoproterozoic Ukrainian Shield. *Mineralogical journal*, 36, 2, 48-60. [in Russian].
29. Ryabchikov, I.D. (1965). Thermodynamic analysis of trace elements behavior during the silicate melt crystallization. Moscow: Nauka, 120. [in Russian].
30. Ryabchikov, I.D. (1975). Thermodynamics of the fluid phase in granitoid magmas Moscow: Nauka, 232. [in Russian].
31. Sobolev, V.S. (1947). Petrology of eastern part of the complex Korosten pluton. *Science Notes of Lviv University* 6, 5, 1-139. [in Russian].
32. Stepaniuk, L.M., Grinchenko, O.V., Zagnitko, V.M., Bartnitsky, E.M. (1996). Isotopic investigation of vein granitoids of Middle Pobuzhie region, Ukrainian Shield. *Papers of National Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 129-133 [in Ukrainian].
33. Bilan, O., Mitrokhin, O., Shumlyanskiy, L., Zagorodniy, V. (2016). U-Pb age of zircons from hybrid rocks of Korosten anorthosite-rapakivi granite pluton. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 7, 74, 3, 6-10. [in Ukrainian].
34. Shnyukov, S.E., Cheburkin, A.K., Andreev, A.V. (1989). Geochemistry of wide-spread coexisting accessory minerals and their role in investigation of endogenetic and exogenetic processes. *Geological Journal*, 2, 107-114. [in Russian].
35. Shnyukov, S.E. (2002). Geochemical models of magmatic systems and earth's crust evolution: potential source of petrophysical and ore-genetical information. *Geophysical journal*, 24, 6, 201-219. [in Russian].
36. Shnyukov, S.E., Lazareva, I.I. (2002). Geochemical modeling in research of genetic connection of magmatic complexes and spatially associated hydrothermal-metaplastic ore deposits. *Zbirnik naukovih prats UkrDGRi*, 1, 128-143. [in Ukrainian].
37. Shnyukov, S.E. (2001). Ubiquitous accessory minerals in geochemical modeling of magmatic processes. *Zbirnik naukovih prats UkrDGRi*, 1-2, 41-53. [in Ukrainian].
38. Allegre, C.J., Minster, J.F. (1978). Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 38, 1-25.
39. Dovbush, T.I., Skobelev, V.M. (2000). Some remarks on the origin of the Korosten anorthosite-rapakivi granite complex as based on isotope data. *Geophysical Journal*, 22, 84-85.
40. Eklund, O., Shebanov, A.D. (1999). The origin of rapakivi texture by sub-isothermal decompression. *Precambrian Research*, 95, 129-146.
41. Gast, P.W. (1968). Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 32, 1057-1086.
42. Gavryliv, L., Shnyukov, S., Lazareva, I. (2016). Geochemical behavior of major and trace elements during magma evolution process in Bodie Hills Volcanic Field, Nevada. XV-th International Conference of Geoinformaticos "Theoretical and Applied Aspects" (May 10-13, 2016, Kiev, Ukraine). URL: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=84616>
43. Amelin, Yu.V., Heaman, L.M., Verchoglyad, V.M., Skobelev, V.M. (1994). Geochronological constraints on the emplacement history of an anorthosite-rapakivi granite suite: U-Pb zircon and baddeleyite study of the Korosten complex, Ukraine. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 411-419.
44. Greenland, L.P. (1970). An equation for trace element distribution during magmatic crystallization. *Am. Miner.*, 55, 455-465.
45. Harrison, T.M., Watson, E.B. (1984). The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 48, 1467-1477.
46. Hertogen, J., Gijbels, R. (1976). Calculations of trace element fractionation during partial melting. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 40, 313-322.
47. Holtz, F., Johannes, W., Tamic, N., Behrens, H. (2001). Maximum and minimum water contents of granitic melts generated in the crust: a reevaluation and implications. *Lithos*, 56, 1-14.
48. McMillan, P.F., Holloway, J.R. (1987). Water solubility in aluminosilicate melts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97, 320-332.
49. Montel, J.M. (1993). A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas. *Chemical Geology*, 110, 127-145.
50. Neumann, H., Mead, J., Vitaliano, C.J. (1954). Trace element variation during fractional crystallization as calculated from the distribution law. *GCA*, 6, 90-99.
51. Longhi, J., Fram, M.S., Vander Auwera, J., Montieth, J.N. (1993). Pressure effects, kinetics, and rheology of anorthositic and related magmas. *Am. Mineral*, 78, 1016-1030.
52. Shaw, D.M. (1970). Trace element fractionation during anatexis. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 34, 237-243.
53. Soesoo, A. (2000). Fractional crystallization of mantle - derived melts as a mechanism for some I - type granite petrogenesis: an example from Lachlan Fold Belt, Australia. *J. Geol. Soc. London*, 157, 135-149.
54. Bogdanova, S.V., Pashkevich, I.K., Buryanov, V.B. et al. (2004). The 1.80-1.74-Ga gabbro-anorthosite-rapakivi Korosten Pluton in the Ukrainian Shield: a 3-D geophysical reconstruction of the deep structure. *Tectonophysics*, 381, 5-27.
55. Lazareva, I., Shnyukov, S., Hlon, E., Aleksieienko, A., Morozenko, V., Gavryliv, L. (2017). Volcanoes of Antarctica as object of geological and ecological research at an example of Deception Island. *Materials of XI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"* (October 11-14, 2017, Kyiv, Ukraine).
56. Watson, E.B., Harrison, T.M. (1983). Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304.

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.
E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua
І. Лазарева, канд. геол. наук, доц.
E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua
О. Зінченко, канд. геол. наук, доц.
О. Хлонь, інж.
E-mail: khlon@univ.kiev.ua
Л. Гаврилів, асп.
E-mail: liubomyr.gavryliv@gmail.com
А. Алексєєнко, асп.
E-mail: scr315@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна

ГЕОХІМІЧНА МОДЕЛЬ МАГМАТИЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ГРАНІТОЇДІВ КОРОСТЕНСЬКОГО ПЛУТОНУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ): ПЕТРОГЕНЕТИЧНІ АСПЕКТИ І ГЕНЕЗИС РУДНОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ В МЕТАСОМАТИЧНИХ ЗОНАХ

Було вивчено попередній набір геохімічних даних для гранітоїдів (рапаківі, граніт-порфіри та жильні граніти) Коростенського анортозит-рапаківігранітного плутону (КП) Українського щита. Дані щодо мікроелементного складу гранітоїдів достатньо близько апроксимуються моделлю фракційної кристалізації Релея. Для Rb встановлено типову несумісну поведінку з постійним комбінованим коефіцієнтом розподілу ($D_{Rb} = 0,5$), що дозволило провести розрахунок значення f (масової частки рідкої фази в магматичній камері) для кожного типу гранітоїдів (порції залишкового розплаву) приймаючи мінімальний вміст елемента в гранітоїдах (169 ppm) за його вміст у материнському розплаві (C_0^{Rb}). Залежність концентрацій від f для мікро- (включаючи P, Ti, S, Cl, F, Ca) і петрогенних елементів апроксимовані рівняннями виду $C=C_0 f^{D-1}$ або поліноміальними, відповідно. Одержаний набір рівнянь є ідеалізованою моделлю поведінки елементів, яка ілюструє характер еволюції розплаву в процесі фракційної кристалізації: виснаження Ba, Sr, Ti, Zr, P, S; збагачення Th, Ga; інверсію поведінки LREE, Y, F, Cl, Nb, Zn і Pb. Монотонне зниження концентрації Zr і P вказує на насичення розплаву цирконом та апатитом, що дозволило провести розрахунок модельних температур (T_{model}) користуючись експериментальними рівняннями розчинності циркону і апатиту в силікатних розплавах, а також отримати поліноміальне рівняння залежності T_{model} від f (діапазон T_{model} : 900-720°C). Вміст води у розплаві для моменту заміни апатиту монацитом у продуктах кристалізації (інверсія поведінки LREE; $f = 0,185$) розраховано з рівняння розчинності монациту. Оцінку вмісту води у вихідному розплаві ($C_0^{H_2O}=2,36$ wt%) і тиску в магматичній камері ($P_{total} \sim 6,3$ kbar) проведено, припускаючи, що $D_{H_2O} = 0,1$. Відокремлення водного флюїду внаслідок насичення системи водою, виходячи з розробленої моделі, відбулося при $f = 0,165$. Синхронна інверсія C/ C_0 вказує на збагачення флюїду F, Cl, Nb, Zn, Pb тощо. Дані про склад флюїду відповідають геохімічним даним про склад асоціюючих з КП метасоматично змінених порід, що може свідчити про їх генетичну єдність.

Ключові слова: граніт, рапаківі, мікроелементи, магматична еволюція, апатит, циркон, монацит, ксенотим, розчинність, вода в розплаві, відокремлення флюїду, метасоматити, рудна мінералізація.

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.
E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua
І. Лазарева, канд. геол. наук, доц.
E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua
О. Зінченко, канд. геол. наук, доц.
О. Хлонь, інж.
E-mail: khlon@univ.kiev.ua
Л. Гаврилів, асп.
E-mail: liubomyr.gavryliv@gmail.com
А. Алексєєнко, асп.
E-mail: scr315@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильковская 90, г. Киев, 03022, Украина

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГМАТИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГРАНИТОИДОВ КОРОСТЕНСКОГО ПЛУТОНА (УКРАИНСКИЙ ЩИТ): ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ГЕНЕЗИС РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Был изучен предварительный набор геохимических данных для гранитоидов (рапакиви, гранит-порфиры и жильные граниты) Коростенского анортозит-рапакивигранитного плутона (КП) Украинского щита. Данные о микроэлементном составе гранитоидов достаточно близко аппроксимируются моделью фракционной кристаллизации Релея. Для Rb установлено типичное несовместимое поведение с постоянным комбинированным коэффициентом распределения ($D^{Rb} = 0,5$), что позволило произвести расчет значения f (массовой доли жидкой фазы в магматической камере) для каждого типа гранитоидов (порции остаточного расплава) принимая минимальное содержание элемента в гранитоидах (169 ppm) за его содержание в материнском расплаве (C_0^{Rb}). Зависимости концентраций от f для микро- (включая P, Ti, S, Cl, F, Ca) и петрогенных элементов аппроксимированы уравнениями вида $C=C_0 f^{D-1}$ или полиномиальными, соответственно. Полученный набор уравнений является идеализированной моделью поведения элементов, которая иллюстрирует характер эволюции расплава в процессе фракционной кристаллизации: истощение Ba, Sr, Ti, Zr, P, S; обогащение Th, Ga; инверсию поведения LREE, Y, F, Cl, Nb, Zn и Pb. Монотонное снижение концентрации Zr и P указывает на насыщение расплава цирконом и апатитом, что позволило произвести расчет модельных температур (T_{model}) используя экспериментальные уравнения растворимости циркона и апатита в силикатных расплавах, а также получить полиномиальное уравнение зависимости T_{model} от f (диапазон T_{model} : 900-720°C). Содержание воды в расплаве для момента замены апатита монацитом в продуктах кристаллизации (инверсия поведения LREE; $f = 0,185$) рассчитано из уравнения растворимости монацита. Оценка содержания воды в исходном гранитном расплаве ($C_0^{H_2O}=2,36$ wt%) и давления в магматической камере ($P_{total} \sim 6,3$ kbar) проведена, предполагая, что $D_{H_2O} = 0,1$. Отделение водного флюида вследствие насыщения системы водой, исходя из разработанной модели, произошло при $f = 0,165$. Синхронная инверсия C/ C_0 указывает на обогащение флюида F, Cl, Nb, Zn, Pb и т. д. Данные о составе флюида соответствуют геохимическим данным о составе ассоциирующих с КП метасоматически измененных пород, что может свидетельствовать об их генетическом единстве.

Ключевые слова: гранит, рапакиви, микроэлементы, магматическая эволюция, апатит, циркон, монацит, ксенотим, растворимость, вода в расплаве, отделение флюида, метасоматиты, рудная минерализация.

УДК 549 : 553. 31 (477.63)

В. Стрельцов, інженер-геолог
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат
вул. Рудна, 47, м. Кривий Ріг, 50002, Україна
В. Євтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com
А. Євтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva.anna23@gmail.com
М. Шепелюк, асп.
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет"
вул. В. Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50002, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНА МІНЕРАЛОГІЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ РИБЕКІТОВИХ МЕТАСОМАТИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

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

Рибекітові метасоматити належать до поширених різновидів бідних магнетитових руд Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського та деяких інших родовищ Криворізького басейну. Рибекітизація магнетитових кварцитів супроводжувалась зміною розміру та форми кристалів, агрегатів магнетиту й нерудних мінералів, характеру їх контактів, кількісних співвідношень рудоутворювальних і другорядних мінералів. Таким чином, метасоматоз спричинив зміни мінералогічних показників руд, які визначальним чином впливають на їх збагачуваність. Основний показник інтенсивності метасоматозу – середній вміст Na_2O в складі первинних магнетитових кварцитів – близький до 0; в зонах слабких метасоматичних змін, представлених рибекітованими магнетитовими кварцитами, його значення зростає до 0,58 мас.%; в зонах помірних метасоматичних змін (рибекіт-магнетитові кварцити) – до 1,49 мас.%; в зонах найбільш інтенсивних метасоматичних перетворень, складених магнетит-рибекітовими метасоматитами (рибекітитами), – до 2,34 мас.%.
Підвищення інтенсивності метасоматозу спричинило помітне зростання загального вмісту заліза в магнетит-рибекітових метасоматитах порівняно з вихідними магнетитовими кварцитами у зв'язку з частковим винесенням кремнезему лужними розчинами. Вміст заліза, яке входить до складу магнетиту, у цьому ж напрямку закономірно зменшується через часткове заміщення магнетиту рибекітом.

Головний технологічний параметр, за яким визначається ефективність збагачення руд, – загальний вміст заліза у складі концентрату, який виробляється. Від незмінених магнетитових кварцитів до рибекітитів значення цього показника поступово і закономірно зростає. Причина полягає в тому, що підвищення активності рибекітизації сприяло наближенню форми індивідів магнетиту до кристалографічно досконалих. Наслідком цього є поліпшення розкриття кристалів і агрегатів магнетиту при подрібненні руд, зменшення залучення нерудних мінералів до концентрату в складі зростків.

Негатив рибекітизації – погіршення трьох інших технологічних показників бідних магнетитових руд: виходу концентрату, вилучення заліза до його складу та вмісту заліза у складі відходів збагачення (хвостів). Зниження виходу концентрату пов'язане із зменшенням вмісту в складі руд магнетиту через його часткове заміщення рибекітом. Цим же зумовлене зниження показника вилучення заліза до концентрату: до його складу надходить залізо магнетиту, залізо ж у складі рибекіту видаляється до відходів збагачення. Останнє пояснює значне зростання (від 8,04 до 20,79 мас.%) загального вмісту заліза у складі хвостів.

Таким чином, рибекітизація магнетитових кварцитів у мінералого-технологічному відношенні характеризується контрверсійністю. З одного боку, вона супроводжувалась зростанням якості концентрату, з другого – зменшенням виходу концентрату та вилучення заліза до концентрату. Оскільки головним показником ефективності технологічного процесу є вміст заліза у складі концентрату, в цілому рибекітизацію можна розглядати як процес, що сприяв поліпшенню збагачуваності бідних магнетитових руд.

Ключові слова: залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, магнетитові руди, натрієвий метасоматоз, мінеральний склад руд, хімічний склад руд, збагачуваність руд.

Постановка проблеми. Рибекітові метасоматити належать до поширених різновидів бідних магнетитових руд Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ і сягають понад 50 % загальної маси їх продуктивних товщ. Вони присутні й серед руд Інгулецького, Глеюватського, Валякинського родовищ, а також родовищ шахт "Тернівська", ім. Г.К. Орджонікідзе, "Гвардійська", "Ювілейна", ім. М.В. Фрунзе.

Їх утворення пов'язане з дією вуглекисло-натрієвих метасоматизуючих розчинів на вихідні магнетитові кварцити. Рибекітизація супроводжувалась частковим розчиненням та міграцією мінеральної речовини, мінералоутворенням, перекристалізацією індивідів і агрегатів первинних мінералів магнетитових кварцитів (магнетиту, гематиту (залізної слюдки), кварцу) та псевдоморфізацією кумінгтоніту. Внаслідок цього відбулись зміни розміру та форми кристалів, агрегатів магнетиту й нерудних мінералів, характеру їх контактів, кількісних співвідношень рудоутворювальних і другорядних мінералів.

Таким чином, метасоматоз спричинив зміни мінералогічних показників руд, які визначальним чином впливають на їх збагачуваність.

Протягом останніх років проявилась тенденція зростання вимог металургійних підприємств до якості залізородного концентрату. У зв'язку з цим актуальності на-

були детальні мінералогічні дослідження руд, у тому числі рибекітових метасоматитів для забезпечення більш чіткого оконтурення рудних покладів різного мінерального складу, різної збагачуваності, оптимізації технологій усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики та їх збагачення, підвищення якості одержуваного концентрату.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Натрієві метасоматити, в тому числі їх рибекітові різновиди, були об'єктом численних геологічних, петрологічних, мінералогічних, геохімічних, металогенічних досліджень [1–9, 12–13]. Рибекітові метасоматити не виокремлювались у самостійний об'єкт вивчення, розглядались спільно з егіриновими, альбітовими метасоматитами як один з компонентів метасоматичних тіл. У роботах мінералого-технологічного спрямування розглядались показники збагачення рибекіт- та егіриновмісних магнетитових руд [10, 14], методи мінералогічного та технологічного картування залізородних метасоматитів [2, 8, 13]. Протягом останніх років у процесі експлуатації родовищ з'ясувалось, що серед натрієвих метасоматитів найбільш поширені рибекітові: вони становлять близько 90 % від загальної маси натрієвих метасоматитів продуктивних товщ родовищ. Через відносно слабе мінералого-технологічне вивчення саме рибекітових метасоматитів виявились недостатньо дослідженими тренди зміни мінералогічних показників і

параметрів збагачуваності бідних магнетитових руд, які зазнали рибекітизації різної інтенсивності.

Метою авторів було визначення закономірностей зміни хімічного, мінерального складу та збагачуваності магнетитових кварцитів залежно від інтенсивності їх рибекітизації.

Досягненню мети сприяло вирішення таких **завдань**: 1) виявлення в техногенних відслоненнях бортів кар'єрів Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ тіл рибекітових метасоматитів з повним проявом мінералогічної зональності; 2) детальне опробування рибекітових метасоматитів по мінералогічних зонах у кар'єрі Первомайського родовища, продуктивна товща якого характеризується найбільшим поширенням рибекітових метасоматитів; 3) систематичне дослідження хімічного, мінерального складу метасоматитів та віднесення їх до чотирьох груп руд з різним ступенем рибекітизації; 4) узагальнення одержаних даних і визначення трендів зміни мінералогічних, хімічних, технологічних показників рибекітових метасоматитів за зонами метасоматичних тіл.

Вихідний матеріал та методика досліджень. У збоях Первомайського кар'єру Північного гірничозбагачувального комбінату (ПНГЗКу) були відібрані 227 проб різного складу незмінених магнетитових кварцитів та продуктів їх метасоматичних перетворень. З них були відібрані 47 найбільш представницьких проб, які характеризували первинні магнетитові кварцити, продукти їх метасоматичних змін з різним рівнем рибекітизації: рибекітизовані магнетитові кварцити (вміст рибекіту від 1 до 10 мас.%), рибекіт-магнетитові кварцити (10–30 %), магнетит-рибекітові метасоматити (рибекітити) (30–80 мас.% рибекіту). Близькі до мономінеральних рибекітові метасоматити (вміст рибекіту понад 80 мас.%) серед зразків досліджених порід були відсутні. В продуктивній товщі Первомайського родовища вони зустрічаються рідко – у вигляді малопотужних (до 20 см) метасоматичних прожилків, січних або згідних із шаруватістю первинних магнетитових кварцитів.

Матеріал рядових проб був дроблений до розміру частинок менше 20 мм, усереднений, після чого з нього були відібрані наважки для виконання скорочених хімічних аналізів (лабораторія Державної інспекції ДІЯПруда). Визначався загальний вміст заліза в складі руд ($Fe_{\text{заг}}$) та вміст

заліза, яке входить до складу магнетиту ($Fe_{\text{магн.}}$), – показників, значення яких використовуються на гірничозбагачувальних комбінатах Кривбасу для загальної характеристики якості руд. Вміст Na_2O визначався з метою підтвердження одержаних мінералогічних даних про інтенсивність метасоматичних змін магнетитових кварцитів. З використанням полірованих і прозорих шліфів встановлювалися кількісні співвідношення між рудоутворювальними (магнетит, гематит (залізна слюдка), кварц, кумінгтоніт, рибекіт) та другорядними (егірин, селадоніт, тетраферібіотит, мінесотаїт та ін.) мінералами первинних магнетитових кварцитів і рибекітових метасоматитів. Показники мінерального і хімічного складу дозволяли контролювати вірність віднесення матеріалу досліджених проб до чотирьох виділених різновидів незмінених і метасоматично змінених руд.

Технологічні експерименти проводилися за схемою тристадійного подрібнення і тристадійної "микрої" магнітної сепарації з кінцевим розміром частинок у продуктах подрібнення менше 0,063 мм. Така схема покладена в основу роботи збагачувальної фабрики ПНГЗКу.

Мінералогічні дослідження та технологічні випробування виконувалися у лабораторіях Криворізького національного університету.

Результати досліджень та їх обговорення. Мінеральні різновиди магнетитових кварцитів і метасоматитів досліджених 47 проб були встановлені за даними підрахунків кількісного співвідношення головних мінералів руд – новоутвореного рибекіту та реліктових магнетиту й кварцу (табл. 1).

Показник інтенсивності метасоматозу – середній вміст Na_2O – в складі первинних магнетитових кварцитів близький до 0. В зонах слабких метасоматичних змін, складених рибекітизованими магнетитовими кварцитами, значення цього параметра зростає до 0,58 мас.%, а в зонах помірних метасоматичних змін – до 1,49 мас.%. Максимальне середнє значення вмісту Na_2O (2,34 мас.%) відповідає ділянкам найбільш інтенсивних метасоматичних перетворень, складених магнетит-рибекітовими метасоматитами (рибекітитами), в яких вміст рибекіту значно перевищує вміст реліктового магнетиту, а метаморфогенний кварц практично відсутній.

Таблиця 1

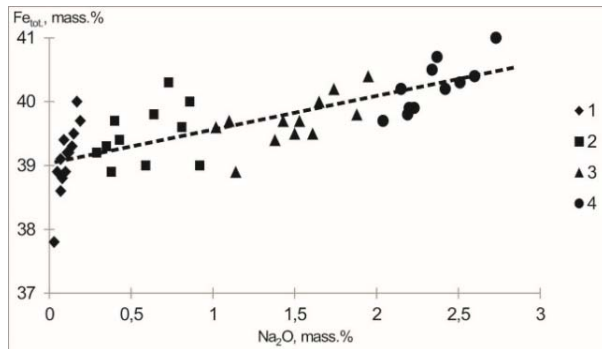
Хімічні й технологічні показники магнетитових кварцитів і їх різною мірою рибекітизованих різновидів

Мінеральні різновиди руд	n	Вміст хімічних компонентів, мас.%			Технологічні параметри				
		$Fe_{\text{заг}}$	$Fe_{\text{магн.}}$	Na_2O	β	γ	ϵ	ϑ	$\vartheta_{\text{магн.}}$
кварцити магнетитові (метасоматично незмінні)	13	39,11	34,85	0,11	66,87	52,82	90,3	8,04	2,4
кварцити магнетитові рибекітизовані	11	39,47	32,2	0,58	67,26	50,66	86,31	10,87	1,82
кварцити рибекіт-магнетитові	12	39,7	30,07	1,49	67,91	45,45	77,75	16,15	1,48
метасоматити магнетит-рибекітові (рибекітити)	11	40,24	27,65	2,34	68,97	40,27	69,03	20,79	0,89

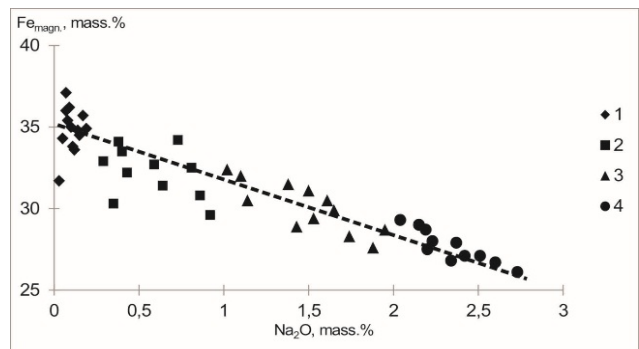
Показники: n – кількість мінералого-технологічних експериментів; $Fe_{\text{заг}}$ – загальний вміст заліза, мас.%; $Fe_{\text{магн.}}$ – вміст заліза в складі магнетиту; β – вміст заліза в складі одержаного концентрату, мас.%; γ – вихід концентрату, %; ϵ – вилучення заліза до концентрату, %; ϑ – вміст заліза в складі відходів збагачення (хвостів), мас.%; $\vartheta_{\text{магн.}}$ – вміст у відходах збагачення заліза, яке входить до складу магнетиту, мас.%.

Підвищення інтенсивності метасоматозу спричинило помітне зростання загального вмісту заліза від первинних магнетитових кварцитів до магнетит-рибекітових метасоматитів (табл. 1, рис. 1, а) через часткове винесення кремнезему лужними розчинами [3, 5]. Вміст заліза у складі магнетиту в цьому ж напрямку закономірно зменшується (табл. 1, рис. 1, б) через часткове заміщення магнетиту рибекітом.

Технологічні експерименти проводилися для об'єднаних проб чотирьох виділених мінеральних різновидів руд. Ці проби були скомпоновані з наважок матеріалу кожної з 47 рядових проб. Після ретельного усереднення матеріал чотирьох технологічних проб був направлений на виконання технологічних досліджень. Рудопідготовка полягала в тристадійному подрібненні вихідного матеріалу з крупністю частинок 0–20 мм до кінцевої крупності 0–0,063 мм.



а

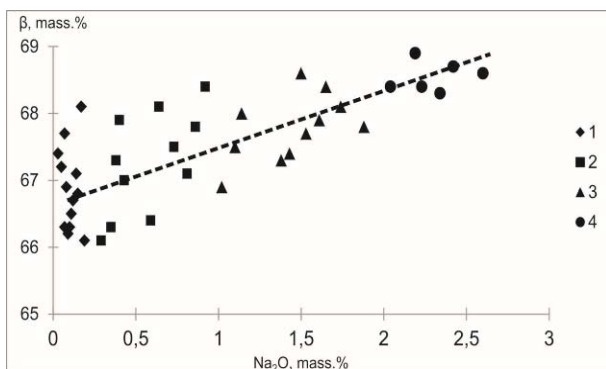


б

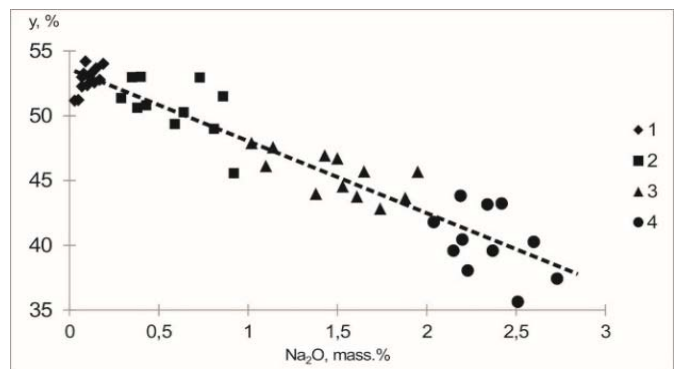
Рис. 1. Характер зміни загального вмісту заліза (а) та вмісту заліза у складі магнетиту (б) залежно від інтенсивності рибекітизації первинних магнетитових кварцитів
(позначення технологічних показників див. підпис до табл. 1)

Головним технологічним параметром, за яким визначається ефективність збагачення руд і якість одержуваного концентрату, є загальний вміст заліза в його складі β . З табл. 1 і рис. 2, а видно, що наростання інтенсивності рибекітизації, показником якої є збільшення вмісту Na_2O у складі метасоматитів, значення β поступово і закономірно зростає. Мікроскопічні дослідження різною мірою метасоматизованих руд свідчать, що головною причиною цього є поступове вдосконалення морфології виділень магнетиту. Рибекітизація супроводжувалась розчиненням і метасоматичним заміщенням рибекітом їх периферійних зон, які зазвичай характеризуються складними контурами. Метасоматична рибекітизація у цьому сенсі мала

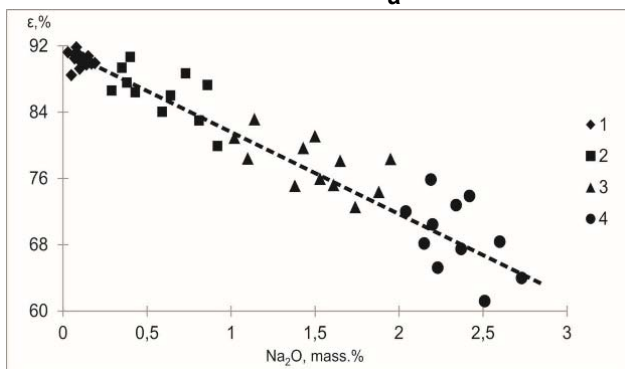
два наслідки: спрощення контурів форми кристалів магнетиту і утворення епітаксialьних поверхонь їх зростання з кристалами рибекіту, по яких розділення мінералів відбувається більш ефективно порівняно з розділенням по синтаксialьних поверхнях зростання виділень магнетиту і кварцу. Більш ефективне розкриття виділень магнетиту зумовлює зменшення потрапляння частинок нерудних мінералів до концентрату і, як наслідок, підвищення його якісних показників. Цьому сприяє також зменшення кількості дрібних (зазвичай, менше 0,05 мм) пойкилобластів магнетиту в кристалах і агрегатах кварцу, які також першочергово заміщувались рибекітом [11].



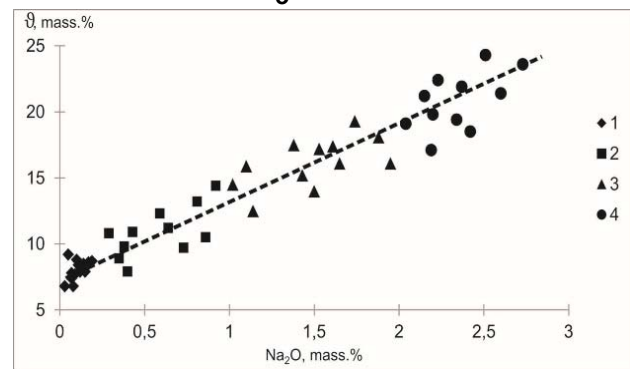
а



б



в



г

Рис. 2. Закономірності зміни технологічних показників збагачення бідних магнетитових руд Первомайського родовища в зв'язку з їх рибекітизацією
(позначення технологічних показників див. підпис до табл. 1)

Негативом рибекітизації є погіршення, у зв'язку з наростанням її інтенсивності, трьох інших технологічних показників бідних магнетитових руд родовища: виходу концентрату, вилучення заліза до його складу та вмісту заліза у складі відходів збагачення (хвостів) (рис. 2, б, в, г). Зни-

ження виходу концентрату пов'язане із зменшенням вмісту у складі руд магнетиту (табл. 1) через його часткове заміщення рибекітом. Цим же зумовлене зниження показника вилучення заліза до концентрату: до його складу потрапляє залізо магнетиту, залізо ж у складі рибекіту видаляється до відходів збагачення. Останнє пояснює також

значне зростання (від 8,04 до 20,79) загального вмісту заліза у складі хвостів. У той же час дані хімічних аналізів (табл. 1) і результати мікроскопічних досліджень показують, що при збагаченні руд, які складають зони метасоматичних тіл від незмінених магнетитових кварцитів до рибекітитів, утворюються відходи збагачення зі все меншим вмістом магнетиту. Це пов'язане із зазначеним вище вдосконаленням морфології виділень магнетиту та заміщенням рибекітом дрібних виділень магнетиту.

Таким чином, рибекітизація магнетитових кварцитів Первомайського родовища у мінерало-технологічному відношенні характеризується контраверсійністю. З одного боку, вона супроводжувалась зростанням якості кінцевого корисного продукту, з другого – зменшенням кількісних показників збагачення магнетитових руд, у першу чергу виходу концентрату і пов'язаного з ним вилученням заліза до концентрату. Але оскільки головним показником ефективності технологічного процесу є вміст заліза у складі концентрату, в цілому рибекітизацію можна розглядати як процес, що сприяв поліпшенню збагачуваності бідних магнетитових руд родовища.

Висновки. 1. Рибекітизація активно проявлена у залізистих горизонтах саксаганської світи Криворізького басейну. Продуктивні товщі Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ більш ніж на 50 % складені рибекітовими метасоматитами та рибекітованими магнетитовими кварцитами. Найактивніше рибекітизація магнетитових кварцитів проявлена в продуктивній товщі Первомайського родовища.

2. Мінералогічні зміни магнетитових кварцитів, які супроводжували наростання їх рибекітизації, спричинили значні зміни показників збагачення руд: зростання вмісту заліза у складі одержуваного концентрату та помітне зменшення виходу концентрату, вилучення заліза до його складу, а також суттєве підвищення загального вмісту заліза у складі відходів збагачення.

3. Оскільки ефективність збагачення бідних магнетитових руд оцінюється за загальним вмістом заліза у складі одержуваного концентрату, рибекітизація позитивно вплинула на їх збагачуваність.

Список використаних джерел

1. Александров И.В. Натровый метасоматоз в Криворожье / И. В. Александров // Геохимия щелочного метасоматоза. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 71–151.
2. Евтехов В.Д. Особенности минерало-технологического картирования месторождений в метасоматически измененных железистых кварцитах (на примере Кривбасса) / В. Д. Евтехов // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. – Киев : Наук. думка, 1988. – С. 82–92.
3. Елисеев Н.А. Метасоматиты Криворожского рудного пояса / Н. А. Елисеев, А. П. Никольский, В. Г. Кушев // Труды Лаборатории геологии докембрия АН СССР. – М.; Л. : Изд. АН СССР, 1961. – Вып. 13. – С. 204.
4. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Минералогия / Б. И. Пирогов, Ю. Н. Стебновская, В. Д. Евтехов и др. – Киев : Наук. думка, 1989. – 169 с.
5. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / В. Д. Евтехов, Г. П. Зарайский, В. Н. Балашов и др. // Очерки физико-химической петрологии. – М. : Наука, 1988. – № 15. – С. 17–37.
6. Кушев В.Г. Щелочные метасоматиты докембрия / В. Г. Кушев. – Л. : Недра, 1972. – 190 с.

7. Минералогия Криворожского бассейна / Е. К. Лазаренко, Ю. Г. Гершойг, Н. И. Бучинская и др. – Киев : Наук. думка, 1977. – 544 с.
8. Минерало-технологическое картирование железорудных месторождений Северного Криворожья / Б. И. Пирогов, В. Д. Евтехов, Д. Н. Кондратьева и др. // Горный журн. – 1980. – № 10. – С. 12–15.
9. Никольский А.П. Натриевые гидротермальные метасоматиты юго-западной части Русской платформы / А. П. Никольский // Геолог. журн. – 1973. – № 2. – С. 31–44.
10. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы определяющие обогатимость железистых кварцитов / Б. И. Пирогов. – М. : Недра, 1969. – 240 с.
11. Стрельцов В.О. Вплив рибекітизації на збагачуваність магнетитових руд Первомайського родовища Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, А. В. Євтехова, Є. В. Євтехов // 36. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф.: Сталій розвиток промисловості та суспільства. – Кривий Пир, 2014. – С. 12–16.
12. Стрельцов В.О. Локалізація рибекітових метасоматитів у продуктивних товщах залізорудних родовищ Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, В. Д. Євтехов // Геол.-мінералог. вісн. Криворізь. нац. ун-ту. – 2016. – № 1 (35). – С. 111–120.
13. Стрельцов В.О. Деякі особливості мінералогічної зональності залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, В. Д. Євтехов, А. В. Євтехова // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2017. – № 1. – С. 52–57.
14. Технологическая минералогия железных руд / Б. И. Пирогов, Г. С. Порохов, И. В. Холошин и др. – Л. : Наука, 1988. – 302 с.

References

1. Aleksandrov, I.V. (1963). Sodium metasomatism in Krivorozyhe. 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. 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].
4. 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].
5. Evtekhov, V.D., Zarayskiy, G.P., Balashov, V.N., Valeyev, O.K. (1988). Zoning of sodium metasomatites in ferruginous quartzites of the Northern Krivorozyhe. Physicochemical petrology essays. Moscow: Nauka, 15, 17-37. [In Russian].
6. Kushev, V.G. (1972). Alkaline metasomatites of the Precambrian. Leningrad: Nedra, 190 p. [In Russian].
7. Lazarenko, E.K., Gershoig, Yu.G., Buchinskaya, N.I. et al. (1977). Mineralogy of the Kryvyi Rih basin. Kyiv: Naukova Dumka, 544 p. [In Russian].
8. Pirogov, B.I., Evtekhov, V.D., Kondratieva, D.N. et al. (1980). Mineralogical and technological mapping of iron ore deposits in the North Krivorozyhe. Mining Journal, 10, 12-15. [In Russian].
9. Nikolskiy, A.P. (1973). Sodium hydrothermal metasomatites of southwestern part of the Russian platform. Geological journal, 2, 31-44. [In Russian].
10. Pirogov, B.I. (1969). Geological and mineralogical factors determining ferruginous quartzites dressability. Moscow: Nedra, 240 p. [In Russian].
11. Streltsov, V.O., Evtekhov, A.V., Evtekhov, V.D. (2014). Riebeckitization influence on dressability of magnetite ore from Pervomayske deposit in the Kryvyi Rih basin. Abstracts of International scientific-technical conference: Sustainable development of industry and society. Kryvyi Rih, 12-16. [In Ukrainian].
12. Streltsov, V.O., Evtekhov, V.D. (2016). Localization of riebeckite metasomatites at productive rock masses of iron ore deposits in Kryvyi Rih basin. Geological and mineralogical bulletin of Kryvyi Rih national university, 1 (35). 111-120. [In Ukrainian].
13. Streltsov, V.O., Evtekhov, V.D., Evtekhov, A.V. (2017). Some peculiarities of mineralogical zonality of iron ore riebeckitic metasomatites of Kryvyi Rih basin. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1, 52-57 [In Ukrainian].
14. Pirogov, B.I., Porotov, G.S., Holoshin, I.V., Tarasenko, V.N. (1988). Technological mineralogy of iron ores. Leningrad: Nauka, 302 p. [In Russian].

Надійшла до редколегії 09.10.17

V. Streltsov, Geological engineer
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Ingulets Iron Ore Mining and Processing Works
47 Rudnaya Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine
V. Evtekhov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: evtekhov@gmail.com
A. Evtekhova, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: eva_anna@mail.ru
M. Shepelyuk, PhD student
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
The State Institution of Higher Education "Kryvyi Rih National University"
11 V. Matuskevych Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine

TECHNOLOGICAL MINERALOGY OF IRON ORE RIEBECKITE METASOMATITES OF KRYVYI RIH BASIN

Riebeckite metasomatites belong to the widespread varieties of low-grade magnetite ores of Pervomaiske, Hannivske, Petrivske, Artemivske and some other deposits of Kryvyi Rih basin. Riebeckitization of magnetite quartzites was accompanied by changes in the size, shape of crystals and aggregates of magnetite and nonmetallic minerals, their contact nature, and the quantitative relationships of ore-forming and secondary minerals. Thus, metasomatism has caused changes in mineralogical indexes of ores, which have a decisive influence on ore preparation characteristics.

The main index of metasomatism intensity is the average Na_2O content in the primary magnetite quartzites which is close to 0; in the zones of weak metasomatic changes represented by riebeckitized magnetite quartzites, its value increases up to 0.58 mass.%; in zones of moderate metasomatic changes (riebeckite-magnetite quartzites) it is up to 1.49 mass.%; in the zones of the most intensive metasomatic transformations, composed of magnetite-riebeckite metasomatites (riebeckitites) it is up to 2.34 mass.%.

The increase in metasomatism intensity has caused a noticeable increase in the total iron content in magnetite-riebeckite metasomatites compared with the initial magnetite quartzites due to the partial removal of silica by alkaline solutions. The iron content, which is a part of magnetite, decreases in the same way due to the partial substitution of magnetite by riebeckite.

The main technological parameter, which determines the efficiency of ore processing, is the total iron content in the concentrate produced. The value of this index gradually and regularly grows from unaltered magnetite quartzites to riebeckitites. The reason is that an increase in riebeckitization activity contributed to the approximation of magnetite individual forms to crystallographically perfect ones. The consequence of this is the improvement in magnetite crystals and aggregates release when grinding ores, the reduction in nonmetallic minerals entrainment in the concentrate in aggregates composition.

Negative consequence of riebeckitization consists in deterioration of the three other technological indexes of low-grade magnetite ores. They are: concentrate yield, iron extraction, and iron content in concentration waste (tailings). The reduction in the concentrate yield is associated with a decrease of magnetite content in ores due to its partial replacement with riebeckite. The decrease in the index of the iron recovery into the concentrate is due to the same fact: it receives iron from magnetite, while riebeckite iron is removed to the concentration waste. This explains the significant increase (from 8.04 to 20.79 mass.%) of the total iron content in tailings.

Thus, the riebeckitization of magnetite quartzites is characterized by a contrariety in terms of the mineralogical-technological relation. On the one hand, it was accompanied by the increase in concentrate quality, on the other hand by a decrease in concentrate yield and iron recovery into concentrate. The iron content of the concentrate being the main indicator for technological process efficiency, in general, riebeckitization can be considered to be a process that contributed to improving the processing of low-grade magnetite ores.

Keywords: banded iron formation, Kryvyi Rih basin, magnetite ores, sodium metasomatism, mineral composition, chemical composition, ore preparation characteristics.

В. Стрельцов, инженер-геолог
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Ингулецкий горно-обогатительный комбинат
ул. Рудная, 47, г. Кривой Рог, 50002, Украина
В. Евтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com
А. Евтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva_anna@mail.ru
М. Шепелюк, асп.
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет"
ул. В. Матусевича, 11, г. Кривой Рог, 50002, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ РИБЕКИТОВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Рибекитовые метасоматиты относятся к распространенным разновидностям бедных магнетитовых руд Первомайского, Анновского, Петровского, Артемевского и некоторых других месторождений Криворожского бассейна. Рибекитизация магнетитовых кварцитов сопровождалась изменением размера, формы кристаллов и агрегатов магнетита и нерудных минералов, характера их контактов, количественных соотношений рудообразующих и второстепенных минералов. Таким образом, метасоматоз стал причиной изменения минералогических показателей руд, которые определяющим образом влияют на их обогатимость. Основным показателем интенсивности метасоматоза – среднее содержание Na_2O в составе первичных магнетитовых кварцитов – близко к 0; в зонах слабых метасоматических изменений, представленных рибекитизированными магнетитовыми кварцитами, его значение возрастает до 0,58 масс.%; в зонах умеренных метасоматических изменений (рибекит-магнетитовые кварциты) – до 1,49 масс.%; в зонах наиболее интенсивных метасоматических преобразований, сложенных магнетит-рибекитовыми метасоматитами (рибекититами), – до 2,34 масс.%.

Повышение интенсивности метасоматоза стало причиной заметного возрастания общего содержания железа в магнетит-рибекитовых метасоматитах по сравнению с исходными магнетитовыми кварцитами в связи с частичным выносом кремнезема щелочными растворами. Содержание железа, которое входит в состав магнетита, в этом же направлении закономерно уменьшается из-за частичного замещения магнетита рибекитом.

Главный технологический параметр, по которому определяется эффективность обогащения руд, – общее содержание железа в составе производимого концентрата. От неизменных магнетитовых кварцитов до рибекититов значение этого показателя постепенно и закономерно растет. Причина заключается в том, что повышение активности рибекитизации способствовало приближению формы индивидов магнетита к кристаллографически совершенным. Следствием этого является улучшение раскрытия кристаллов и агрегатов магнетита при измельчении руд, уменьшение вовлечения нерудных минералов в концентрат в составе хвостов.

Негативе рибекитизации – ухудшение трех других технологических показателей бедных магнетитовых руд: выхода концентрата, извлечения железа в его состав и содержания железа в составе отходов обогащения (хвостов). Снижение выхода концентрата связано с уменьшением содержания в составе руд магнетита из-за его частичного замещения рибекитом. Этим же обусловлено снижение показателя извлечения железа в концентрат: в его состав поступает железо магнетита, железо же в составе рибекита удаляется в отходы обогащения. Последнее объясняет значительный рост (от 8,04 до 20,79 масс.%) общего содержания железа в составе хвостов.

Таким образом, рибекитизация магнетитовых кварцитов в минералого-технологическом отношении характеризуется контраверсностью. С одной стороны, она сопровождалась ростом качества концентрата, с другой – уменьшением выхода концентрата и извлечения железа в концентрат. Поскольку главным показателем эффективности технологического процесса является содержание железа в составе концентрата, в целом рибекитизацию можно рассматривать как процесс, который способствовал улучшению обогатимости бедных магнетитовых руд.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, магнетитовые руды, натриевый метасоматоз, минеральный состав, химический состав, обогатимость руд.

ГЕОФІЗИКА

UDC 622.24

G. Efendiyev¹, Dr. Sci. (Techn.), Prof., Corr. Member of ANAS

Tel.: +994502809794, e-mail: galib_2000@yahoo.com

P. Mammadov², Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Academician

Tel.: +994503171415, e-mail: parviz08@list.ru

I. Piriverdiyev¹, PhD Student

Tel.: +994504125240, e-mail: igorbaku@yandex.ru

V. Mammadov¹, PhD Student

Tel.: +994503178800, e-mail: vugar.mammadov@halliburton.com

¹Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Sciences

9 F. Amirov Str., Baku, AZ1000, Azerbaijan

²Azerbaijan State Oil and Industrial University

20 Azadlig Ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan

ESTIMATION OF THE LOST CIRCULATION RATE USING FUZZY CLUSTERING OF GEOLOGICAL OBJECTS BY PETROPHYSICAL PROPERTIES*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)*

Currently, cluster-analysis or automatic classification problems are widely used in various fields, in particular economics, sociology, medicine, geology, and other sectors, where there are sets of arbitrary kinds of objects to be automatically divided into groups of similar objects based on their "similarities-differences" features. In recent years, these methods have been widely used in data analysis problems. Conventional methods of cluster-analysis suggest a clear partition of the original set into subsets, in which each point is included only in one cluster after the partition. However, it is well known that such a restriction is not always true. It is often necessary to make such kind of partition, which allows determining the degree of membership of each object for each set. In this case it is advisable to use fuzzy cluster-analysis methods. Problems in this formulation arouse interest of specialists dealing with geology, geophysics, oil- and gas-well drilling and oil and gas production. One of the most important results of the study of lost circulation zones is determination of the coefficient of lost circulation intensity.

Purpose. Estimation of drilling mud lost circulation during drilling and emerging risks.

Methodology. The solution of the problems posed in the work was carried out using methods known from mathematical statistics and the theory of fuzzy sets. The technique of processing the results, as well as fuzzy cluster analysis, was used for that purpose. **Findings.** As a result of the research, 5 classes were obtained, each of which characterizes the rate of mud lost circulation, expressed by linguistic variables. On the basis of this, fuzzy models are constructed, expressing the relationship between the indices of petrophysical properties and the volume of the absorbed solution.

Originality. A method based on fuzzy cluster analysis has been developed, which makes it possible to predict drilling mud lost circulation of different rate at an early stage during drilling.

Practical value. The obtained results allow making decisions on prevention of lost circulation and timely liquidation of their consequences.

Keywords: porosity, permeability, fuzzy cluster, absorption, drilling mud, complications.

With the growth of information processed, stored and received during the work of information processes in large and medium-sized enterprises, as well as scientific activities, its processing, in the form obtained, becomes difficult. There is a need for initial processing of information for its structuring, identification of characteristics, generalization and sorting. For this purpose, classification and clustering processes are used. Classification of documents is the process of ordering or distribution of objects (observations) to classes in order to reflect the relationship between them. A class is a set of documents that have a certain common feature that distinguishes it totally from others. To classify an object means to indicate the number (or name) of the class to which the object belongs. Classifier training is the process of constructing an algorithm in the case when a finite set of objects is specified and it is known to which classes they belong. This set is called sampling. The class affiliation of the remaining objects is not known.

Clustering is the process of splitting a given selection of objects (observations) into disjoint subsets, called clusters, so that each cluster consists of similar objects, and the objects of different clusters differ substantially. Clustering is used when data compression is required. If the original sample is excessively large, it can be reduced by leaving one of the most typical representatives from each cluster. Clustering is also used to detect novelty. Untypical objects are selected that cannot be attached to any of the clusters [2].

It is important to understand the difference between clustering (unsupervised classification) and discriminant analysis (supervised classification). In supervised classification, we are provided with a collection of labeled (pre-classified) patterns; the problem is to label a newly encountered, yet unlabeled, pattern. Typically, the given

labeled (training) patterns are used to learn the descriptions of classes which in turn are used to label a new pattern. In the case of clustering, the problem is to group a given collection of unlabeled patterns into meaningful clusters. In a sense, labels are also associated with clusters, but these category labels are data driven; that is, they are obtained solely from the data [11].

Different methods of clustering could be effective for different properties. For example, the Bayes method is used in the presence of a large number of objects in the training sample, to calculate the probability of occurrence of objects most accurately. The support vector method is used in the economy to calculate regression of different values and further prediction. It is used as a classifier in information retrieval systems. The K-means method is used to isolate groups of objects in the economy, in the data analysis, as well as in information retrieval systems. The hierarchical clustering method is used to collect statistical data and is implemented in statistical packages. It is also used for clustering text documents. EM-algorithm is used in information retrieval systems for clustering large amounts of data.

There are two main classifications of clustering methods. One of them is the division into hierarchical and non-hierarchical (or flat) ways of clustering. Hierarchical algorithms (also called taxonomy algorithms) build more than one partition of the sample into disjoint clusters, and a system of nested partitions. Thus, at the output we get a cluster tree, the root of which is the entire sample, and the leaves are the smallest cluster. Downward hierarchical algorithms work on the principle of "top-down": at the beginning, all objects are placed into one cluster, which is then broken down into smaller clusters. "Down-top" algorithms are more common, where at the beginning of the job, each object is placed into a

separate cluster, and then we consolidate the clusters into larger clusters until all sampling objects are contained in the same cluster. Thus, a system of nested partitions is constructed. The results of such algorithms are usually presented in the form of a tree – a dendrogram. A classic example of such a tree is the classification of animals and plants. Unlike them, non-hierarchical (flat) algorithms build one partition of objects into clusters.

In general, clustering can be also classified as follows: Soft clustering (overlapping clustering) and Hard clustering (or exclusive clustering) [10]. In the case of hard clustering, each point belongs to only one cluster; while for soft clustering the point belongs to two or more clusters with different degrees of membership. Often, soft clustering is more natural, because points on the boundaries of classes do not have to belong entirely to one of them. Rather, they will belong to several classes with different degrees of membership from 0 to 1. One of the most popular techniques of soft clustering is fuzzy c-means (FCM), and similarly k-means is one of the most common methods of hard clustering.

For each pair of objects, the "distance" between them is measured – it is the degree of similarity. There are many metrics, here are the main ones: Euclidean distance, The Square of the Euclidean distance, Distance between city blocks (Manhattan distance), Chebyshev's distance, and Power distance.

The most common distance function is Euclidean distance. It is a geometric distance in a multidimensional space:

$$p(x, x') = \sqrt{(x_i - x'_i)^2}. \quad (1)$$

The square of the Euclidean distance is used to give more weight to more distant objects. This distance is calculated as follows:

$$p(x, x') = (x_i - x'_i)^2. \quad (2)$$

Distance between city blocks (Manhattan distance) is the mean of the differences in coordinates. In most cases, this measure of distance leads to the same results as the usual Euclidean distance. However, for this measure, the effect of individual large differences (outliers) decreases (because they are not squared). Chebyshev's distance can be useful when you need to define two objects as "different" if they differ in any one coordinate. Power distance is acceptable where it is necessary to increase or decrease the weight related to the dimension for which the corresponding objects are very different.

The choice of the metric lies entirely with the researcher, since the results of clustering can differ significantly when using different measures.

K-Means Algorithm.

The K-means method is based on dividing the set of observations into clusters that are locally minimized with respect to the distance between the information point and the cluster centroid. The objective function of the algorithm is represented by the formula (3):

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2, \quad (3)$$

where $\|x_i^{(j)} - c_j\|^2$ is a chosen distance measure between a data point $x_i^{(j)}$ and the cluster centre c_j , is an indicator of the distance of the n data points from their respective cluster centers.

This algorithm is particularly sensitive to randomly selected initial cluster centers. To reduce this effect, the algorithm can be executed many times. This is a simple algorithm that can be used in many areas and is well suited for randomly generated data points.

This method takes the input parameter k , the number of clusters and splits the set of n objects into k clusters, so that the resulting intra-cluster similarity is high, but the similarity between clusters is low. The basic idea is to determine k centroids, one for each cluster. These centroids should be placed in a subtle way due to a different location resulting in different results. Thus, the best choice is to place them as far apart as possible. The next step is to take each point belonging to a given data set and associate it with the nearest center of gravity. When no point is deferred, the first step is completed and the early grouping is performed. At this stage, we need to count k new centroids. After we have these new centroids, a new binding must be done between the same points in the data set and the nearest new center of gravity. A loop has been created. As a result of this cycle, we can see that k centroids change their location step by step, until no changes are made. In others words, centroids no longer move. Finally, this algorithm is aimed at minimizing an objective function, in this case, a squared error function [10].

The Formal algorithm of K-Means is:

1. *Select K points as initial centroids.*

2. *Repeat.*

3. *Form k clusters by assigning all points to the closest centroid.*

4. *Recompute the centroid of each cluster.*

5. *Until the centroids do not change.*

Fuzzy C-Means Algorithm.

As above mentioned, one of the most widely used algorithms in clustering is fuzzy clustering algorithm. Fuzzy set theory was first proposed by Zadeh in 1965 [15] and it gave an idea of uncertainty of belonging which was described by a membership function. For each of the clusters, membership values are assigned to the data points and fuzzy clustering algorithm allows the clusters to grow into their natural shapes. In Fuzzy C-Means (FCM) algorithm each point belongs to the cluster to a certain extent – this is called the membership grade. The technique was suggested by Jim Bezdek in 1981 [4] and it is an improvement on earlier studies. The main advantage of this type of clustering is its flexibility. Points belong to more than one cluster. It allows the gradual membership of points in clusters, located in the range from 0 to 1.

The well-known Bezdek's fuzzy clustering algorithm, known as Fuzzy C-Means, as well as other algorithms based on it, such as PCM, PFCM, FCM- σ , can be useful in many technical fields, for example image analysis, pattern recognition. FCM gives good results in the absence of noise, but it is very sensitive to noise and outliers. In this regard, the centroid is attracted to the outliers, rather than the cluster centers. The use of PCM and PFCM partly solves this problem, because they work better in the presence of noise compared to FCM. But PCM cannot find optimal clusters because of noise, and PFCM does not give good results if clusters vary greatly in size and outliers. The fuzzy clustering algorithms can be divided into two types: one is Classical fuzzy clustering algorithms and the other is Shape based fuzzy clustering algorithms [6].

FCM is based on minimization of the following objective function (4):

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C U_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2, \quad 1 \leq m < \infty, \quad (4)$$

where m is any real number greater than 1, U_{ij} is the degree of membership of x_i in the cluster j , x_i is the i -th of d -dimensional measured data, c_j is the d -dimension center of the cluster, and $\|*\|$ is any norm expressing the similarity between any measured data and the center. Fuzzy

partitioning is carried out through an iterative optimization of the objective function shown above, with the update of membership U_{ij} and the cluster centers c_j by:

$$U_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^N U_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N U_{ij}^m} \quad (6)$$

This iteration will stop when $\max_{ij} = \{|U_{ij}^{(k+1)} - U_{ij}^k|\} < \xi$ where ξ is a termination criterion between 0 and 1, whereas k is the iteration steps. This procedure converges to a local minimum or a saddle point of J_m .

The formal algorithm of FCM is:

1. Initialize $U = [u_{ij}]$ matrix, $U^{(0)}$;
2. At k -step: calculate the centers vectors $C^{(k)} = [c_j]$ with $U^{(k)}$;
3. Update $U^{(k)}$, $U^{(k+1)}$;
4. If $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \xi$ then STOP; otherwise return to step 2.

In FCM, data are bound to each cluster by means of a Membership Function, which represents the fuzzy behavior of this algorithm. To do that, we simply have to build an appropriate matrix named U whose factors are numbers between 0 and 1, and represent the degree of membership between data and centers of clusters.

A comparison between the FCM and K-Means algorithms is performed based on their respective calculation periods taken for the experiments, and based on their respective temporal complexities in [10]. First of all, it can be seen from the observations that despite foregoing advantages, the FCM requires more time for computation than K-Means. So, as we have seen, as soon as the number of cluster increases, the time complexity of FCM increases with a more rapid growth rate than that of K-Means algorithm. This figure shows that K-Means algorithm is less complex than FCM.

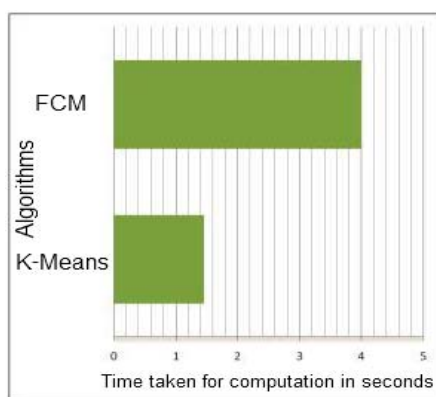


Fig. 1. Comparison between the FCM and K-Means algorithms

Numerous researches of different authors have been devoted to studies of various characteristics of rocks such as porosity, permeability, lithology, etc. [5, 13, 14]. In these works, studies were carried out using the method of statistical modeling through geophysical studies of wells;

attempts were made to establish a correlation between various geological and technological characteristics with the aim of further practical application in solving oilfield tasks.

Thus, in [13, 14] the problem of statistical modeling of random fields in three-dimensional space was considered. The model was constructed and an improved numerical simulation algorithm was formulated. The ways of forming and approximating of homogeneous groups with respect to several variables were theoretically justified and shown. In order to analyze the parameters of elastic and acoustic anisotropy, the effect of mineral composition and porosity on these parameters was studied in [5]. The main aspects of the construction of geological and geophysical models are discussed in [9]. This paper gives the classification of geological-geophysical models by stages of prospecting works. The analysis shows that very interesting results have been obtained in recent years, whose application can solve problems of different, including technological, nature.

During solving a number of problems, the authors used methods based on fuzzy sets, which provide successful solving of classification problems, as well as decision-making tasks.

Results of the analysis using c-means method.

Usually work on the definition of lost circulation intensity is performed for each well. The intensity of lost circulation is influenced by a number of factors, including lithologic and petrophysical characteristics of the reservoir. The forecast of the expected lost circulation intensity values during the design of wells according to the results of studies of previously drilled wells is a reserve for further reducing of the well wiring cost in the areas, folded by layers which tend to lost circulation. Lost circulation can have varying rate, which can be estimated by using cluster-analysis. Accordingly, the purpose of the present report is the use of fuzzy cluster-analysis for the assessment of rate for this kind of complications in drilling, which include lost circulation of drilling mud. Data about drilling was collected, it also contains measurements, which allowed determining the intensity of lost circulation. Depending on the nature of the original information, two approaches were suggested: statistical and based on fuzzy-cluster analysis [8]. The data was subjected to statistical and fuzzy cluster-analysis using c-means algorithms and an appropriate program. As a result of cluster-analysis, five classes were produced, and each of them is characterized by the relative rate of lost circulation, the relevant characteristics of layers and intensity of lost circulation.

In our work, a cluster analysis was carried out using the c-means method based on two signs [1], influencing the intensity of lost circulation: porosity and permeability. These input signs were set in accordance with the intensity of lost circulation. Each class corresponds to certain degree of rate (catastrophic, serious, intensive, partial, and minor).

However, the desired result of clustering can be also obtained by using hard c-means algorithm, if a set of objects consists of compact clusters and each cluster is noticeably separated from others. At the same time, in practical problems, particularly in geology, oil and gas business, such kind of sets of objects are rare. A set of objects often contains several unprototype objects, which can lead to poor results of clustering due to the shift of cluster centers [1]. To overcome such undesirable property of clear algorithm, FCM-algorithm (fuzzy c-means algorithm) using weighting factors (membership function) to monitor the contribution of the objects into the cluster centers definition, should be applied. FCM-algorithm gives adequate results of clustering if a set of objects contains overlapping clusters. The results of clustering are based on fuzzy membership function, using the relative distances of objects relative to the centers of clusters [3, 12]. For example, an object that is far away from

the cluster center, makes a smaller contribution to the clusters centers search process, than objects which are close to the center of the cluster.

As a result of the applying of algorithm, five clusters were obtained [7], and each of them is characterized by petrophysical characteristics matched rate of lost circulation of rocks as following fuzzy rules:

IF the rock is dense and impermeable, THEN lost circulation is minor.

IF the rock is low-porous and moderately permeable, THEN lost circulation is intensive.

IF the rock is moderately porous and low-permeable, THEN lost circulation is partial.

IF the rock is porous and highly-permeable, THEN lost circulation is catastrophic.

IF the rock is highly-porous and permeable, THEN lost circulation is serious.

Term-sets of input and output variables are shown in Figures 2-4.

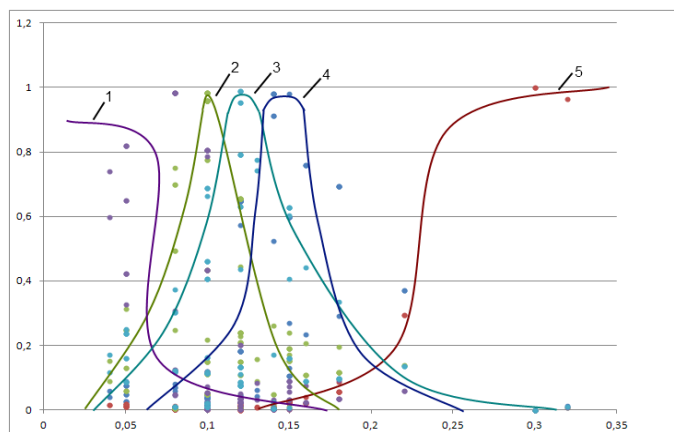


Fig. 2. Term-sets of porosity:

1 – dense; 2 – low-porous; 3 – moderately porous; 4 – porous; 5 – highly-porous

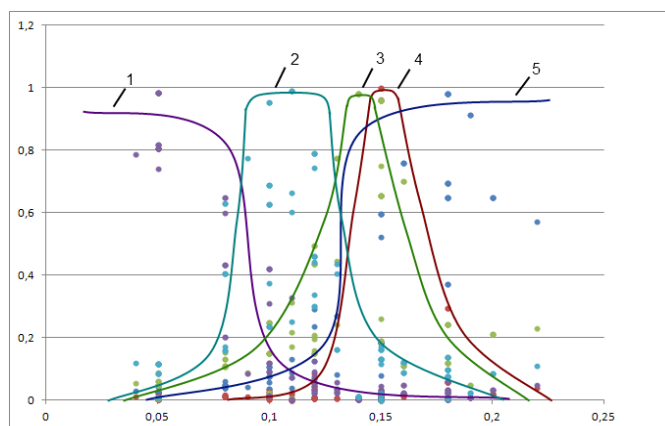


Fig. 3. Term-sets of permeability:

1 – impermeable; 2 – low-permeable; 3 – moderately permeable; 4 – permeable; 5 – highly-permeable

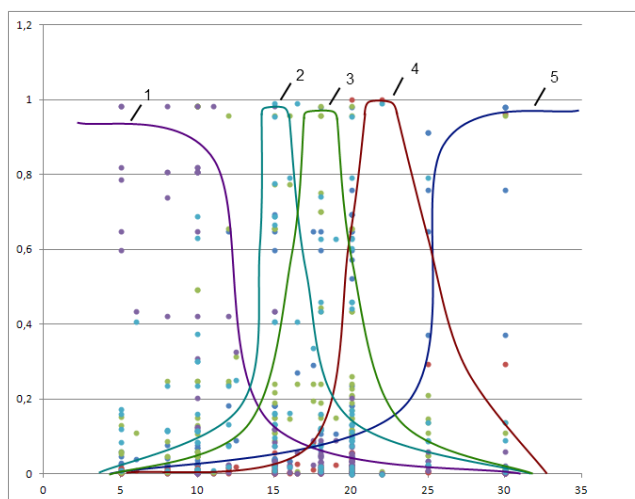


Fig. 4. Term-sets of lost circulation:

1 – minor; 2 – partial; 3 – intensive; 4 – serious; 5 – catastrophic

Thus, to evaluate the effect of geological conditions on the nature of lost circulation in terms of lack of information, mutual correspondence between indicators of petrophysical properties of rocks and rate of lost circulation has been reached on the basis of fuzzy cluster-analysis, that is very important for the early diagnosis of lost circulation and assessment of the risk.

Список використаних джерел

1. Демидова Л. А. Кластеризация объектов с использованием FCM-алгоритма на основе нечетких множеств второго типа и генетического алгоритма / Л. А. Демидова, Е. И. Коняева // Вестник РГРТУ. – Рязань. – 2008. – № 26. 4.
2. Черезов Д. С. Обзор основных методов классификации и кластеризации данных / Д. С. Черезов, Н. А. Тюкачев // Вестник ВСУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2009. – № 2. – С. 25–29.
3. Aliev R. A. Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications / R. A. Aliev, B. G. Guirimov. – 2014. – Режим доступу: <http://www.springer.com/us/book/9783319090719>
4. Bezdek J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms / J. C. Bezdek. – New York: Plenum Press. – 1981.
5. Bezrodna I. Mathematical modelling of influence of the mineral composition and porosity on elastic anisotropic parameters of complex sedimentary rocks of Volyn-Podolia area / I. Bezrodna, D. Bezrodnyi, R. Holiaka // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2016. – № 73. – С. 27–32.
6. Bora D. J. A Comparative Study Between Fuzzy Clustering Algorithm and Hard Clustering Algorithm / D. J. Bora, A. K. Gupta // International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT). – 2014. – № 10, 2.
7. Clustering of geological objects using FCM-algorithm and evaluation of the rate of lost circulation / G. M. Efendiyev, P. Z. Mammadov, I. A. Piriverdiyev et al. // 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016, 29-30 August 2016, Vienna, Austria: Procedia Computer Science. – 2016. – № 102. – С. 159–162.
8. Forecast of drilling mud loss by statistical technique and on the basis of a fuzzy cluster analysis / G. M. Efendiyev, S. A. Rza-zadeh, A. K. Kadimov et al. // Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Turkey: Izmir. – 2013. – С. 319–322.
9. Kuzmenko T. Theoretical and methodological aspects of creating of geological and geophysical model of hydrocarbon fields / T. Kuzmenko, A. Tyschenko, P. Kuzmenko // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2015. – № 71. – С. 61–66.
10. Raulji J. G. A Review on Fuzzy C-Mean Clustering Algorithm / G. Raulji Jitendrasinh // International Journal of Modern Trends in Engineering and Research. – 2015. – № 2, 2. – С. 751–754.
11. Suganya R. Fuzzy C-Means Algorithm – A Review / R. Suganya, R. Shanthi // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2012. – № 11, 2.
12. Turksen I. B. Full Type 2 to Type n Fuzzy System Models / I. B. Turksen // Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Turkey: Izmir, 2013. – С. 21.
13. Vyzhva S. Determination of the void space structure of complex rocks using the petroacoustic studies data from the Semyrenkivska area / S. Vyzhva, I. Bezrodna // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2016. – № 74. – С. 11–17.

14. Vyzhva Z. About advanced algorithm of statistical simulation of seismic noise in the flat observation area for determination the frequency characteristics of geological environment / Z. Vyzhva, K. Fedorenko, A. Vyzhva // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2016. – № 73. – С. 58–64.

15. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – № 8, 3. – С. 338–353.

References

1. Demidova, L. A., Konyaeva, E. I. (2008). Clustering of objects using FCM-algorithm on the basis of type-2 fuzzy sets and genetic algorithm. Vestnik of RSREU. Ryazan, 26, 4. [in Russian].
2. Cherezov, D. S., Tyukachev, N. A. (2009). Review of main methods of data classification and clustering. Vestnik VSU, series: system analysis and information technologies, 2, 25–29. [in Russian].
3. Aliev, R. A., Guirimov, B. G. (2014). Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications. URL: <http://www.springer.com/us/book/9783319090719>
4. Bezdek, J. C. (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press.
5. Bezrodna, I., Bezrodnyi, D., Holiaka, R. (2016). Mathematical modelling of influence of the mineral composition and porosity on elastic anisotropic parameters of complex sedimentary rocks of Volyn-Podolia area. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 73, 2, 27–32. [In Ukrainian].
6. Bora, D. J., Gupta, A. K. (2014). A Comparative study Between Fuzzy Clustering Algorithm and Hard Clustering Algorithm. International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), 10, 2.
7. Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev, I. A., Mammadov, V. N. (2016). Clustering of geological objects using FCM-algorithm and evaluation of the rate of lost circulation. 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing. ICAFS 2016. 29-30 August 2016., Vienna, Austria. Procedia Computer Science, 102, 159–162.
8. Efendiyev, G. M., Rza-zadeh, S. A., Kadimov, A. K., Kouliyev, I. R. (2013). Forecast of drilling mud loss by statistical technique and on the basis of a fuzzy cluster analysis. Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Turkey: Izmir, 319–322.
9. Kuzmenko, T., Tyschenko, A., Kuzmenko, P. (2015). Theoretical and methodological aspects of creating of geological and geophysical model of hydrocarbon fields. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 71, 4, 61–66. [In Ukrainian].
10. Raulji, J. G. (2015). A Review on Fuzzy C-Mean Clustering Algorithm. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, 2, 2, 751–754.
11. Suganya, R., Shanthi, R. (2012). Fuzzy C-Means Algorithm – A Review. International Journal of Scientific and Research Publications, 2, 11.
12. Turksen, I. B. (2013). Full Type 2 to Type n Fuzzy System Models. Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control. Turkey: Izmir, 21.
13. Vyzhva, S., Bezrodna, I. (2016). Determination of the void space structure of complex rocks using the petroacoustic studies data from the Semyrenkivska area. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 74, 3, 11–17. [In Ukrainian].
14. Vyzhva, Z., Fedorenko, K., Vyzhva, A. (2016). About advanced algorithm of statistical simulation of seismic noise in the flat observation area for determination the frequency characteristics of geological environment. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 73, 2, 58–64.
15. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8, 3, 338–353.

Надійшла до редколегії 12.01.18

Г. Ефендієв¹, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНА
Тел.: +994502809794, e-mail: galib_2000@yahoo.com
П. Мамедов², д-р геол.-мінералог. наук, проф., академік
Тел.: +994503171415, e-mail: parviz08@list.ru,
І. Пірівердієв¹, докторант
Тел.: +994504125240, e-mail: igorbaku@yandex.ru
В. Мамедов¹ Н., дисертант
Тел.: +994503178800, e-mail: vugar.mammadov@halliburton.com
¹Інститут нафти і газу Національної академії наук Азербайджану
вул. Ф. Амірова, 9, м.Баку, AZ1000, Азербайджан
²Азербайджанський державний університет нафти і промисловості
пр-т. Азадліг, 20, м. Баку, AZ1010, Азербайджан

ОЦІНКА ШВИДКОСТІ ПОГЛИНАННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ПЕТРОФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

В даний час завдання кластер-аналізу, або автоматичної класифікації, отримали широке застосування в різних областях, зокрема, економіці, соціології, медицині, геології та інших галузях, усюди, де є множини об'єктів довільної природи, які необхідно автоматично розбити на групи однорідних об'єктів за їх ознаками "подібності-відмінності". В останні роки ці методи широко застосовуються в задачах аналізу інформації. Традиційні методи кластер-аналізу припускають чітке розбиття вихідних множин на підмножини, за якого кожна точка після розбиття потрапляє тільки в один кластер. Однак, як відомо, таке обмеження не завжди вірно. Найчастіше необхідно зробити розбиття так, щоб визначити ступінь належності кожного об'єкта до кожної множини. У цьому випадку доцільно використовувати нечіткі методи кластер-аналізу. Завдання в такій постановці привертають інтерес фахівців, що займаються питаннями геології, геофізики, буріння свердловин і розробки родовищ нафти і газу. Одним із найважливіших результатів дослідження зон поглинання є визначення коефіцієнта інтенсивності поглинання.

Мета. Оцінка ступеня тяжкості поглинань при бурінні свердловин і ризиків, які при цьому виникають.

Методика. Рішення поставлених у роботі завдань базувалося на методах, відомих із математичної статистики і теорії нечітких множин. При цьому були використані методика обробки результатів, а також нечіткого кластер-аналізу.

Результати. Під час досліджень отримані 5 класів, кожен з яких характеризує ступінь тяжкості поглинання бурового розчину, виражену лінгвістичними змінними. На основі цього побудовані нечіткі моделі, що виражають зв'язок між показниками петрофізичних властивостей і обсягом поглиненого розчину.

Наукова новизна. Розроблено метод, заснований на нечіткому кластер-аналізі, що дозволяє прогнозувати поглинання різного ступеня тяжкості на ранній стадії в процесі буріння.

Практична значущість. Отримані результати дозволяють приймати рішення із запобігання поглинанням і своєчасної ліквідації їх наслідків.

Ключові слова: пористість, проникність, нечіткий кластер, поглинання, буровий розчин, ускладнення.

Г. Эфендиев¹, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НАНА

Тел.: +994502809794, e-mail: galib_2000@yahoo.com

П. Мамедов², д-р геол.-минералог. наук, проф., академик

Тел.: +994503171415, e-mail: parviz08@list.ru

И. Пиривердиев¹, докторант

Тел.: +994504125240, e-mail: igorbaku@yandex.ru

В. Мамедов¹, диссертант

Тел.: +994503178800, e-mail: vugar.mammadov@halliburton.com

¹Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана

ул. Ф. Амирова, 9, г. Баку, AZ1000, Азербайджан

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

пр-т. Азадлыг, 20, г. Баку, AZ1010, Азербайджан

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАМИ

В настоящее время задачи кластер-анализа, или автоматической классификации, получили широкое применение в различных областях, в частности, экономике, социологии, медицине, геологии и других отраслях, всюду, где имеются множества объектов произвольной природы, которые необходимо автоматически разбить на группы однородных объектов по их признакам "сходства-различия". В последние годы эти методы широко применяются в задачах анализа информации. Традиционные методы кластер-анализа предполагают четкое разбиение исходного множества на подмножества, при котором каждая точка после разбиения попадает только в один кластер. Однако, как известно, такое ограничение не всегда верно. Зачастую необходимо произвести разбиение так, чтобы определить степень принадлежности каждого объекта к каждому множеству. В этом случае целесообразно использовать нечеткие методы кластер-анализа. Задачи в такой постановке привлекают интерес специалистов, занимающихся вопросами геологии, геофизики, бурения скважин и разработки месторождений нефти и газа. Одним из наиболее важных результатов исследования зон поглощения является определение коэффициента интенсивности поглощения.

Цель. Оценка степени тяжести поглощений при бурении скважин и возникающих при этом рисков.

Методика. Решение поставленных в работе задач основывалось на методах, известных из математической статистики и теории нечетких множеств. При этом были использованы методика обработки результатов, а также нечеткого кластер-анализа.

Результаты. Во время исследований получены 5 классов, каждый из которых характеризует степень тяжести поглощений бурового раствора, выраженную лингвистическими переменными. На основе этого построены нечеткие модели, выражающие связь между показателями петрофизических свойств и объемом поглощенного раствора.

Научная новизна. Разработан метод, основанный на нечетком кластер-анализе, позволяющий прогнозировать поглощения разной степени тяжести на ранней стадии в процессе бурения.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют принимать решения по предупреждению поглощений и своевременной ликвидации их последствий.

Ключевые слова: пористость, проницаемость, нечеткий кластер, поглощение, буровой раствор, осложнения.

УДК 550.552.53.553

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб., заст. директора

Email: bezin3@ukr.net

В. Антонюк, асп.

Email: vitaliantoniuk@gmail.com

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

ОЦІНКА КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД МОСКОВСЬКОГО ЯРУСУ ЗАХІДНОШЕБЕЛИНСЬКОЇ ПЛОЩІ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПЕТРОФІЗИКИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Авторами проведено аналіз петрофізичних властивостей та параметрів, а також визначено структуру пустотного простору для порід московського ярусу свердловини № 701 Біс Західношебелінської площі (інтервал глибин 4929–5380 м) з метою оцінки їх колекторських властивостей.

Комплекс лабораторних досліджень, що включав визначення фільтраційно-ємнісних, електричних та акустичних досліджень на екстрагованих та насичених мінералізованим розчином зразках, проводився в петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології". За результатами петрофізичних досліджень проведено статистичний аналіз, який дозволяє поділити колекцію зразків на групи та виділити породи з колекторськими властивостями. Авторами встановлено кореляційні зв'язки та залежності між петрофізичними параметрами для виділеної групи порід.

Визначення структури пустотного простору проводилось за оригінальною методикою інверсії даних петроакустичних досліджень у структуру пустотного простору. За даними петрофізичних досліджень (об'ємної густини, коефіцієнта відкритої пористості та швидкості проходження поведжжів хвиль) розраховано вміст різних типів пустот (гранулярної, вторинної та тріщинної) у загальну пористість порід. Пустоти тріщинного типу наявні у всіх зразках виділеної групи та становлять 0,47–0,91 %. Вторинна пористість переважає за значеннями міжзернову в усій вибірці, окрім двох зразків, та становить 1,2–7,75 %.

За результатами оцінки петрофізичних параметрів та визначення структури пустотного простору колекції зразків московського ярусу Західношебелінської площі свердловини № 701 Біс встановлено, що породи, які залягають в інтервалі 5202–5211 м, належать до перспективних ущільнених порід-колекторів.

Ключові слова: породи-колектори, фільтраційно-ємнісні властивості, структура пустотного простору.

Вступ. При побудові моделі порід-колекторів важливим є визначення їхніх властивостей та параметрів у лабораторних умовах. Ці дослідження дають змогу отримати на макроскопічному рівні дані про фільтраційно-ємнісні, електричні та акустичні параметри порід та насичуючих їх флюїдів, які потім використовуються при інтерпретації даних ГДС та при побудові математичних моделей родовищ, а також дають змогу виділити породи з колекторськими властивостями.

Визначення структури пустотного простору, а саме типів пустот та тріщин, дає більше інформації про досліджувані породи, а також є важливим при моделюванні руху флюїду крізь породи та може використовуватися при оцінці перспективності досліджуваних горизонтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На даному етапі розвитку петрофізики велика увага приділяється вивченню фільтраційно-ємнісних властивостей, а також структури та геометрії пустотного простору різнотипними методами для отримання корисної інформації, що надалі використовується в процесі дослідження та розробки родовищ вуглеводнів.

Найвідомішими дослідниками, що займалися вивченням фільтраційно-ємнісних властивостей, були Г. Авчан, С. Вижва, В. Дахнов, Н. Дортман, В. Курганський, А. Ханін, В. Енгельгардт, Г. Теодорович, G. Archie, Dj. Tiab, E. Donaldson, F. Lucia, N. Ewall, G. Chilingarian, Spangler, Fraser, A. Timur, Thompson, Bryan, Wilson та ін., а також працівники великих нафтогазовидобувних компаній, зокрема Schlumberger та Core Laboratories [7–10]. Авторами встановлено зв'язок між пористістю та проникністю для різнотипних типів порід із різним ступенем ущільнення, цементації, глинистості, а також розміром та окатаністю зерен мінералів і, крім того, зв'язок фільтраційно-ємнісних властивостей з електричними параметрами.

Завдяки роботам Г. Продайводи, С. Вижви, Б. Маслова, R. Weger, M. Willie, F. Ansemetti, T. Bourbie, D. Han, G. Vaechle, в яких показано вплив глинистості, розміру та типів пустот та мікрокрістин на акустичні властивості порід, стало можливим, використовуючи акустичні методи, отримувати більшу кількість інформації про пустотний простір та власне самі породи-колектори.

На даний час існує доволі багато методів для визначення структури пустотного простору. Вони поділяються на прямі та опосередковані. Серед прямих найпопулярнішими є методи напівпроникної мембрани, ртутної порометрії, капіляриметричних досліджень з використанням центрифугування, досліджень із застосуванням оптичних і електронних мікроскопів, рентгенівської мікротомографії, а також ядерно-магнітно-резонансний метод. Частина з цих методів, як, наприклад, ядерно-магнітно-резонансний метод та метод капіляриметричних досліджень з використанням центрифуги, надають інформацію про розподіл пустот за розміром, що дозволяє прогнозувати проникність порід. Інші, як дослідження з використанням оптичних та електронних мікроскопів, дають змогу отримати інформацію про форму та кількість пустот різних типів. Всі названі вище методи вимагають спеціальної апаратури та є доволі складними у своєму виконанні.

До опосередкованих методів належить метод інверсії результатів акустичних досліджень у структуру пустотного простору, розроблений в ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Г. Продайвода, С. Вижва, І. Безродна) [3].

Метою даної роботи є проаналізувати петрофізичні, зокрема, фільтраційно-ємнісні параметри для виділення порід-колекторів; побудувати кореляційні зв'язки та залежності між петрофізичними властивостями та параметрами; визначити їх структуру пустотного простору, а також типи порід-колекторів.

Досліджувана колекція складається з 75 зразків пісковиків зі свердловини 701 Біс Західношебелінської площі. Глибина відбору керну становить 4929–5380 м. Проведений макропетрографічний опис [5] показав, що породи представлені пісковиками дрібно-, середньо- та крупнозернистими сірого та світло-сірого кольору. Текстура порід шарувата з прошарками слюдистих та глинистих мінералів, а в деяких випадках вуглистої речовини. Шаруватість орієнтована під кутом 75–90° до осі свердловини. Структура порід псамітова від дрібно до середньо-крупнозернистої з розміром уламків 0,15–0,5 мм. Уламки складаються з кварцу та польового шпату і займають від 60 до 90 % розміру породи, решта – цемент та

другорядні мінерали (магнетит, слюдисті мінерали та інколи вуглиста речовина). Цемент переважно кременистого, інколи глинисто-кременистого та глинистого складу. Також у колекції присутні кілька зразків алевритів та алевролітів.

Методика. Лабораторні дослідження проводилися в петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології", під час яких було визначено: об'ємна густина, коефіцієнт відкритої пористості, швидкість проходження повздовжньої хвилі, питомий електричний опір для екстрагованих та насичених мінералізованим розчином NaCl зразків, а також коефіцієнти абсолютної газової проникності та залишкового водонасичення.

Авторами використаний статистичний аналіз, а саме побудова гістограм для визначення розподілу пористості та проникності у породах. При подібних дослідженнях Amyx, Bass, Whiting, Craig, Law встановили, що значення пористості характеризується нормальним розподілом, а проникності – логнормальним [9, 10]. Незважаючи на це, часто вдається отримати багато корисної інформації з побудови гістограм розподілу властивостей, як, наприклад, виділити різнотипні за фізичними властивостями групи літологічно однакових порід, а також встановити граничне значення пористості.

Методика визначення структури пустотного простору, використана в роботі, розроблена в ННІ "Інститут геології" [3] та базується на інверсії результатів акустичних та ємнісних петрофізичних досліджень порід на основі методів

умовних моментів для розв'язання прямої та нелінійної оптимізації для розв'язання оберненої задачі.

При інтерпретації петрофізичних даних алгоритм методики інверсії складався з таких завдань:

- підготовка початкової інформації, що включає розподіл досліджуваних зразків на групи, використовуючи інформацію з петрографічного та петрофізичного вивчення; визначення пружних параметрів скелету породи та флюїдного наповнювача; знаходження початкового наближення структури пустотного простору;
- інверсія акустичних даних у криву кількісного розподілу пустот різних форматів та визначення типів пористості;
- узагальнення результатів інверсії – визначення типів порід колекторів.

У результаті інтерпретації отримується концентрація різних типів пустот (тріщин, каверн, пустот ущільнення, розтягу та первинного походження), які складають загальну пористість зразків. За цими даними визначається тип породи-колектора та виділяються пласти свердловин, що є перспективними при пошуках нафти і газу [1–3].

Результати досліджень. Авторами проведений статистичний аналіз значень відкритої пористості для екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків, а також абсолютної газової проникності. Найінформативнішими є гістограма розподілу насичених зразків за відкритою пористістю (рис. 1) та гістограма розподілу пористості сухих зразків та проникності (рис. 2), що мають нормальний та логнормальний розподіл відповідно.

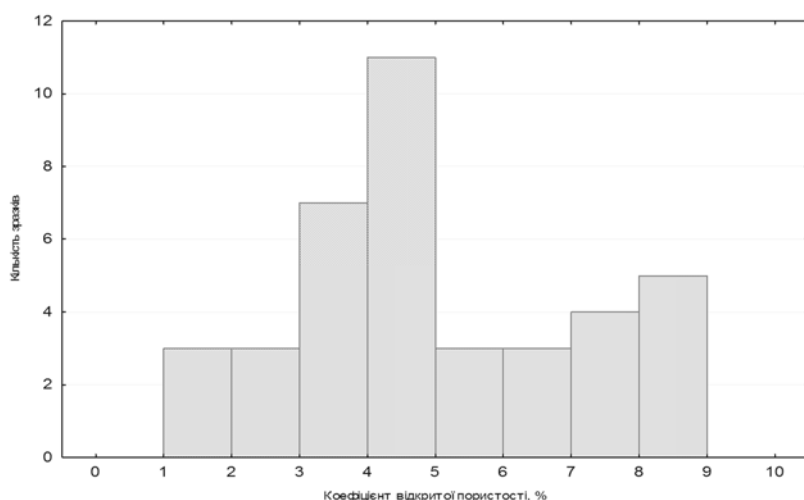


Рис. 1. Гістограма розподілу зразків насичених мінералізованим розчином за відкритою пористістю

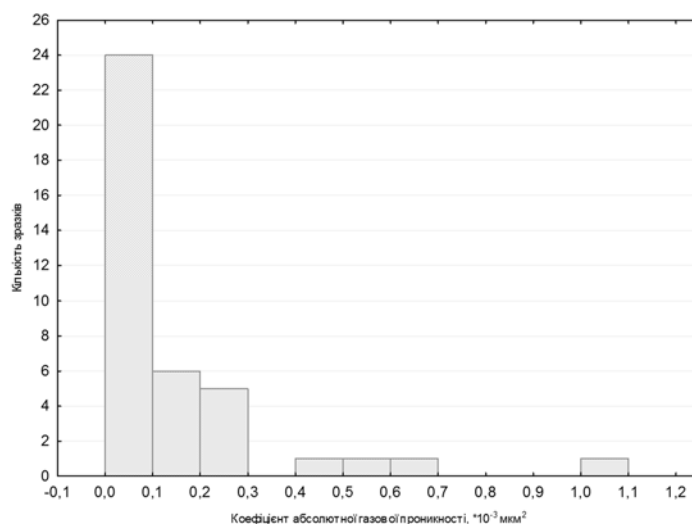


Рис. 2. Гістограма розподілу зразків за абсолютною газовою проникністю

Дана гістограма (рис. 1) показує бімодальний розподіл значень навколо двох окремих піків, що говорить про наявність двох груп порід однакової літології [8]. Виходячи з цього можна сказати, що граничне значення пористості становить 6 %, а зразки, в яких пористість становить 6–10 %, можна попередньо розглядати як породи з колекторськими властивостями.

Виокремлена група зразків порід відібрана з інтервалів 4935–4944 м, 5202–5211 м та 5232–5239 м і належить до потенційно перспективних об'єктів, що виділені за даними ГДС та буріння для даної свердловини [4].

Аналіз результатів комплексних петрофізичних досліджень для екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків виділеної групи дав змогу отримати такі петрофізичні параметри:

- об'ємна густина (σ) екстрагованих зразків становить – 2347–2445 кг/м³, насичених – 2445–2510 кг/м³;
- коефіцієнт відкритої пористості (K_p) – 7,6–11,2% та 6–9 % для сухих та насичених зразків відповідно;
- коефіцієнт абсолютної газової проникності (K_{gp}) – 0,074–1,1 мД;
- коефіцієнт залишкового водонасичення ($K_{зв}$) – 0,45–0,76;
- питомий електричний опір (ρ) для насичених зразків – 3,37–5,14 Ом*м;
- швидкість повздовжніх хвиль (V_p): для сухих зразків – 3245–3942 м/с, насичених – 4057–4509 м/с.

При побудові кореляційних залежностей між отриманими петрофізичними параметрами авторами встановлені зв'язки з достатньо високими коефіцієнтами достовірної апроксимації.

Зв'язки та залежності між досліджуваними петрофізичними параметрами можна охарактеризувати таким чином:

1. Зв'язок між проникністю та відкритою пористістю описується експоненціальною залежністю з величиною достовірної апроксимації (R^2) – 0,72:

$$K_{gp} = 0,0023 * e^{0,62 K_n},$$

а з розрахованими значеннями ефективної пористості (рис. 3):

$$K_{gp} = 0,0447 e^{0,5932 K_n} \text{ з } R^2=0,81.$$

2. Залежність між коефіцієнтом відкритої пористості та параметром пористості апроксимується степеневою залежністю:

$$P_n = \frac{4,6}{K_n^{0,9}} \text{ з } R^2=0,77.$$

3. Залежність між пористістю та інтервальним часом може з високим ступенем достовірності (R^2 – 0,85) описана лінійною залежністю:

$$\Delta t_p = 6,7 * K_n + 181.$$

4. Між проникністю та параметром пористості встановлена степенева залежність:

$$P_n = \frac{38,8}{K_{gp}^{0,19}} \text{ з } R^2 0,82.$$

Оцінюючи отримані результати, можна сказати, що досліджувана група порід характеризується низькою пористістю (<10 %) та слабкою проникністю (<1 мД) [6, 9].

Зразки керну є близькими за складом та літологічними характеристиками пісковиками, тому різниця в петрофізичних параметрах пояснюється відмінністю в структурі пустотного простору.

Для кількісної оцінки пустотного простору зразків вивченої колекції авторами використовувалися результати їх лабораторного вивчення, а саме: об'ємна густина, коефіцієнт відкритої пористості, а також швидкість повздовжніх хвиль.

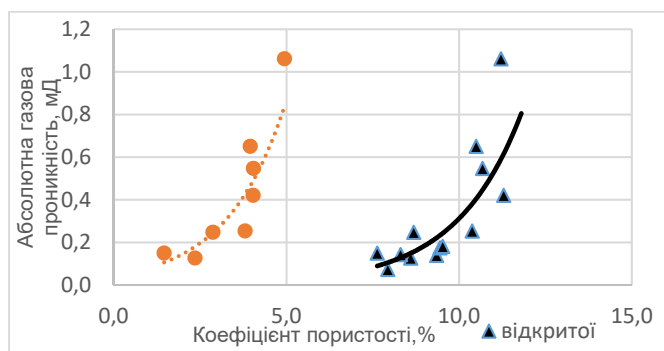


Рис. 3. Графік залежності відкритої пористості та абсолютної газової проникності

Для визначення параметрів скелету вибірки порід побудовані кореляційні рівняння типу $V_p = f(K_n)$ та $\sigma = f(K_n)$, а саме:

$$V_p = -125,09 K_n + 5256,2 \text{ з } R^2 - 0,85,$$

$$\sigma = -19,508 K_n + 2621 \text{ з } R^2 - 0,96.$$

З побудованих кореляційних залежностей шляхом інтерполяції кривих в область нульової пористості визначено параметри матриці груп порід (рис. 4).

Використавши отримані значення, авторами розраховано пружні модулі скелету зразків (об'ємного стиснення та зсуву) за формулами:

$$K = \sigma \left(V_p^2 - 4 / 3 V_s^2 \right), \quad G = \sigma V_s^2.$$

Параметри матриці, а також початкове наближення форматів пустот (α) наведено в табл. 1.

Інверсія даних акустичних досліджень у структуру пустотного простору проводилася за допомогою оригінального програмного забезпечення [3]. У результаті знайдено значення форматів пустот α , їхніх концентрацій $C_n(\alpha)$, а також отримано відсотковий внесок кожного з типів пустот (гранулярних, вторинних, тріщинних) у загальну пористість. Встановлено для досліджених порід, що формат для пустот гранулярного типу становить 0,89, для перехідних пустот (пустоти літологічного ущільнення) – 0,082, для тріщин – 0,0019. Кількість пустот вторинного типу розраховувалась як сума кількості перехідних та тріщинних пустот. Результати кількісної оцінки структури пустотного простору представлені на рис. 5.

Аналізуючи отримані результати визначення структури пустотного простору (рис. 5), встановлено, що тріщинна пористість присутня в усіх зразках і становить 0,47–0,91 %. Найбільший вміст пустот тріщинного типу мають зразки № 6, 8, 17, 18, і він сягає 0,86–0,91 %. В

основному пустотний простір зразків складають вторинні пустоти (середнє значення 5,6 %) в усіх зразках, окрім № 15 та 24, в яких вміст гранулярних пустот вищий, ніж вторинних.

Отже, можна сказати, що з колекції досліджуваних зразків московського ярусу Західношебелинської площі, породи які залягають в інтервалі глибин 5202–5211 м, можна віднести до перспективних ущільнених порід-колекторів.

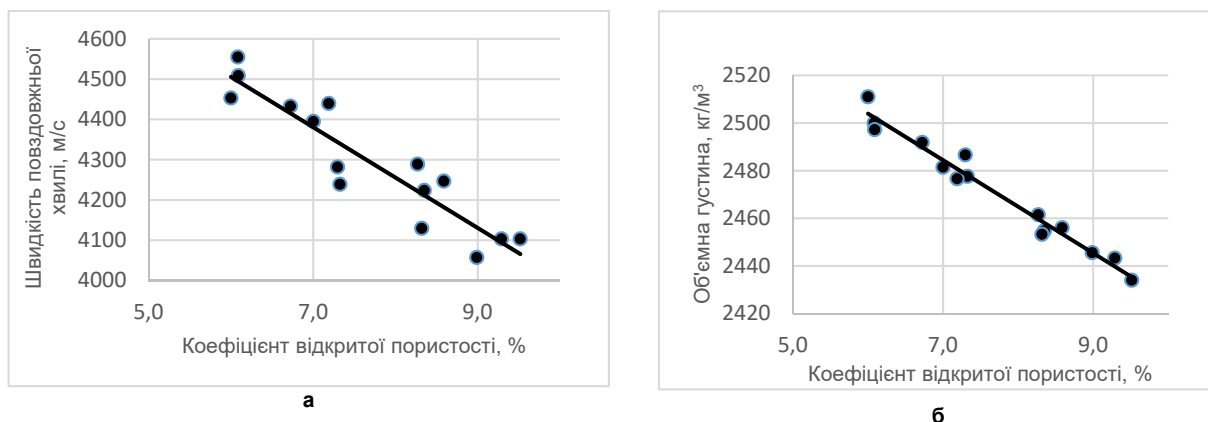


Рис. 4. Визначення параметрів скелету
а – швидкості повздожньої хвилі; б – об'ємної густини

Таблиця 1

Початкове наближення форматів пустот (α) та параметрів матриці досліджуваної вибірки порід					
Параметри матриці			Формат пустот, α		
K , ГПа	G , ГПа	P , г/см ³			
34,7	28,29	2,621	0,9	0,05	0,001

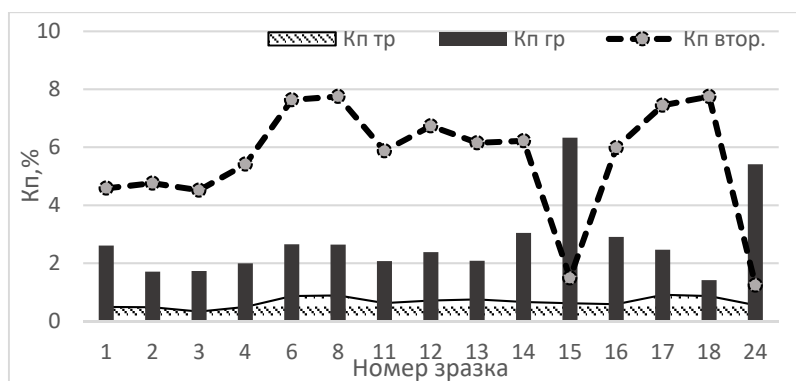


Рис. 5. Результати визначення структури пустотного простору

Висновки. За результатами аналізу петрофізичних, зокрема, фільтраційно-ємнісних параметрів виділено групу порід-колекторів із колекторськими властивостями (зразки інтервалу 5202–5211 м); встановлено тісні кореляційні зв'язки та залежності між петрофізичними параметрами, які можна використовувати при інтерпретації даних ГДС подібних порід. Авторами визначено структуру пустотного простору основних типів порід-колекторів дослідженої вибірки порід. Встановлено, що в зразках переважають пустоти вторинного типу (середнє значення 5,6 %).

Породи, що залягають в інтервалі глибин 5202–5211 м кількісно мають 0,47–0,91 % пустот тріщинного типу, тому їх можна віднести до перспективних порід-колекторів, незважаючи на відносно невеликі значення коефіцієнтів відкритої і ефективного пористості.

Авторами встановлено інтервали розвитку підвищеної тріщинуватості (4940–4943 та 5202–5211 м), а також типи порід-колекторів, зокрема, переважно – гранулярно-тріщинний.

Перспектива подальших досліджень порід-колекторів Західношебелинської площі полягає у визначенні властивостей порід із врахуванням їх анізотропії, а також оцінці колекторських властивостей в умовах високих тисків, що відповідають реальним умовам залягання гірських порід.

Список використаних джерел

- Безродна І. Аналіз петрофізичних властивостей та визначення структури пустотного простору порід московського ярусу Західношебелинської площі / І. Безродна, В. Антонюк // XVI Міжнар. конф.: "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти". – 2017.
- Безродна І. Оцінка структури пустотного простору низькопористих порід Зарічної площі за результатами петрофізичних та геофізичних досліджень / І. Безродна, А. Шинкаренко // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2015. – № 2 (69). – С. 53–58.
- Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва, І. М. Безродна, Т. Г. Продавдова. – Київ: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 367 с.
- Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. 4. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження / В. А. Михайлов, С. А. Вижва, В. М. Загнітко та ін. – К.: ВПЦ Київський університет, 2014. – 215 с.
- Перспективи нафтогазоносності ділянок північного борту та південно-східної прибортової частини Дніпровсько-Донецької западини: звіт з НДР / С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, С. Є. Шнюков та ін. – К., 2011. – 129 с.
- Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение / А. А. Ханин. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
- Nelson P. Permeability-porosity relationships in sedimentary rocks / P. H. Nelson // Society of Petrophysicists and Well Log Analysts. – 1994. – № 3 (35).
- Schön J. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics: 2nd Edition / J. Schön. – Amsterdam: Elsevier, 2015. – 512 с.
- Shepherd M. Oil Field Production Geology / M. Shepherd. – The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, 2009. – 325 с.
- Tiab D. Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties: 4th Edition / D. Tiab, E. C. Donaldson. – Elsevier, 2015. – 918 с.

References

1. Bezrodna, I. M., Antoniuk, V. V. (2017). Petrophysical analysis and estimation of void space structure of moscovian stage, West Shebelynska area rocks. In 16th International Conference on Geoinformatics "Theoretical and Applied Aspects". [In Ukrainian].
2. Bezrodna, I., Shynkarenko, A. (2015). Estimation of void space structure of Zarichna area poor-porous rocks based on petrophysical and geophysical studied. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 2, 53-58. [In Ukrainian].
3. Prodaivoda, H. T., Vyzhva, S. A., Bezrodna, I. M., Prodaivoda, T. H. (2011). Neofizychni metody otsinky produktyvnosti kolektoriv nafty i hazu. Kyiv: Publishing and Polygraphic Centre "The University of Kyiv". [In Ukrainian].
4. Mykhailov, V. A., Vakarchuk, S. G., Zeikan, E. J., Kasyanchuk, S. V., Kurovets, I. M., Vyzhva, S. A. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Book IV. Eastern oil-gas-bearing region analytical investigations. Kyiv: Publishing and Polygraphic Centre "The University of Kyiv". [In Ukrainian].
5. Vyzhva, S. A., Prodaivoda, H. T., Shniukov, S. Y. et al. (2011). Perspektivy naftogazonosnosti dilianok pivnichnogo bortu ta pivdenno-shidnoi pruportovoi chastynu Dniprovsko-Donetskoi zapadyny. Zvit z NDR. [In Ukrainian].
6. Hanin, A. A. (1969). Porody-kolektory nefti i gaza i ih izuchenie. M.: Nedra. [In Russian].
7. Nelson, P.H. (1994). Permeability-porosity relationships in sedimentary rocks. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts, 35 (3).
8. Schön, J. H. (2015). Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. Amsterdam: Elsevier.
9. Shepherd, M. (2009). Oil field production geology. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma.
10. Tiab, D., Donaldson, E. (2015). Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rocks and fluid Transport Properties: Fourth Edition. Elsevier.

Надійшла до редколегії 30.11.17

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Associate director
E-mail: bezin3@ukr.net
V. Antoniuk, PhD student
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ESTIMATION OF MOSCOVIAN STAGE WEST-SHEBELYNSKA AREA CLASTIC SEDIMENTARY ROCK RESERVOIR PROPERTIES USING LABORATORY PETROPHYSICAL DATA

The research focuses on the analysis of petrophysical properties and parameters, and estimation of pore space structure of moscovian stage rocks of 701 Bis well in the West-Shebelynska area (depth interval 4929-5380 m) to estimate their reservoir properties.

Laboratory measurements involved examination of the porosity, permeability, and fluid saturation, electrical and acoustic properties of dry and saturated rock samples. The analyses are performed in the petrophysical laboratory of the Institute of Geology. Statistical analysis of petrophysical data allowed classifying core samples into groups and separating reservoir rocks. The correlations between petrophysical parameters for the isolated group of samples are established.

Assessment of void space structure is made by original method of inversion of acoustic studies in space pore structures. The concentration of different types of voids (intergranular, secondary and fracture) in total porosity of rocks is estimated based on petrophysical data (bulk density, open porosity coefficient and P-wave velocity). Fracture voids are present in all samples of the selected group and amount to 0,47-0,91%. Secondary porosity prevails over intergranular voids values in all samples, except for two, and is 1.2-7.75%.

The examination of petrophysical properties and determination of the space pore structure of West-Shebelynska area samples showed that rocks in range of 5202-5211 m are perspective compacted reservoir rocks.

Keywords: reservoir rocks, porosity, permeability, space pore structure.

И. Безродная, канд. геол. наук., ст. науч. сотруд., зам. директора
E-mail: bezin3@ukr.net
В. Антонюк, асп.
Email: vitaliantoniuk@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД МОСКОВСКОГО ЯРУСА ЗАПАДНО-ШЕБЕЛИНСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПЕТРОФИЗИКИ

Авторами проведен анализ петрофизических свойств и параметров, а также определена структура пустотного пространства для пород московского яруса скважины № 701 Бис Западно-Шебелинской площади (интервал глубин 4929–5380 м) с целью оценки их коллекторских свойств.

Комплекс лабораторных исследований, включавший определения фильтрационно-емкостных, электрических и акустических исследований на экстрагированных и насыщенных минерализованным раствором образцах, проводился в петрофизической лаборатории УНИ "Институт геологии". По результатам петрофизических исследований проведен статистический анализ, который позволил разделить коллекцию образцов на группы и выделить породы с коллекторскими свойствами. Авторами установлены корреляционные связи и зависимости между петрофизическими параметрами для выделенной группы пород.

Определение структуры пустотного пространства проводилось по оригинальной методике инверсии данных петроакустических исследований в структуру пустотного пространства. По данным петрофизических исследований (объемной плотности, коэффициента открытой пористости и скорости прохождения продольных волн) рассчитан вклад различных типов пустот (гранулярной, вторичной и трещинной) в общую пористость пород. Пустоты трещинного типа имеются во всех образцах выделенной группы и составляют 0,47–0,91 %. Вторичная пористость превосходит по значениям межзерновую во всей выборке, кроме двух образцов, и составляет 1,2–7,75 %.

В результате оценки петрофизических параметров и определения структуры пустотного пространства коллекции образцов московского яруса Западно-Шебелинской площади скважины № 701 Бис установлено, что породы, залегающие в интервале 5202–5211 м, относятся к перспективным уплотненным породам-коллекторам.

Ключевые слова: породы-коллекторы, фильтрационно-емкостные свойства, структура пустотного пространства.

УДК 553.98.061.4

Д. Федоришин, д-р геол. наук, проф., зав. кафедри НГГ

E-mail: geophys@nung.edu.ua

О. Трубенко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: geotom@nung.edu.ua

С. Федоришин, канд. геол. наук, доц.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

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

СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ЧАСУ РЕЛАКСАЦІЇ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НЕОГЕНОВИХ ТА КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ ГАЗОВИХ І НАФТОВИХ РОДОВИЩ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

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

Розглядаються результати вивчення ядерно-магнітних параметрів продуктивних газонасичених порід-колекторів неогенових відкладів газових та газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Наведено взаємозв'язки фізичних та петрофізичних параметрів між ядерно-магнітними характеристиками порід-колекторів неогенових відкладів Більче-Волицької зони. Встановлено залежність зміни індексу вільного флюїду від глинистості. Виявлено та обґрунтовано вплив поверхневої активності порід на їх релаксацийні характеристики неогенових та кам'яновугільних відкладів. Встановлений зв'язок, отриманий шляхом зіставлення приведеної смності катіонного обміну g_n і гігроскопічної вологості W_s із швидкістю поведовжньої релаксації ($1/T_1$).

Ключові слова: порода-колектор, індекс вільного флюїду, ядерно-магнітні параметри, релаксацийні характеристики, час релаксації.

Актуальність. Геологічна будова розрізів нафтогазоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони досить складна, що позначається на результатах геолого-пошукових робіт. Основні труднощі, які виникають у процесі дослідження таких розрізів геофізичними методами, незважаючи на суттєві зміни у технічному забезпеченні геофізичного комплексу досліджень, що відбулися за останні роки, пов'язані з тонкопрошарковою будовою розрізу, недосконалістю методик інтерпретації, а також недостатньою чутливістю окремих свердловинних методів. Значною мірою це зумовлено й тим, що породи-колектори виділяються здебільшого за результатами дослідження свердловин непрямыми геофізичними методами. У той же час прямою ознакою колектора є наявність у пустотному просторі породи вільного флюїду. Більшість геофізичних методів безпосередньо не визначають вільний флюїд у пластах-колекторах. Для виділення і вивчення насиченості колекторів у розрізах свердловин за прямими ознаками розроблено метод, який дозволяє виявити вільний флюїд. Базується він на ядерно-магнітних процесах, які відбуваються під дією високочастотного електромагнітного поля.

Аналіз опублікованих праць. Основний внесок у розвиток методу зробили Б.Є. Векслер, В.І. Даневич, Д.М. Садихов, Ю.С. Чернишов та ін. Також значний вклад у розвиток ядерно-магнітного каротажу внесли В.Д. Чухвічов, Г.М. Донов, (трест Татнафтогеофізика) В.Н. Соколов, В.С. Асмалов, Н.І. Ваганов (трест Мангитшлакнафтогеофізика) та ін. У роботах [1, 4] обґрунтовуються фізичні основи ядерно-магнітних методів і описуються геологічні задачі, які вирішуються за їхньою допомогою. Значна частина досліджень, присвячених розвитку ядерно-магнітних методів, висвітлена в працях зарубіжних учених [11, 12]. У роботах Р. Брауна, О. Геклі, Дж. Робінсона [13] приведено переваги ядерно-магнітних методів над електричними та акустичними методами при визначенні таких петрофізичних параметрів, як залишкова водонафтонасиченість, коефіцієнт пористості та структура порового простору колекторів, а також при літологічному розчленуванні геологічних розрізів. Фізична суть методів ядерно-магнітного резонансу базується на властивостях атомних ядер мінералів гірських порід намагнічуватися під дією магнітного та електричного поля, яке призводить до енергетичного обміну ядерних моментів між собою або з навколишнім середовищем. Процес встановлення першочергового стану вектора ядерної намагніченості називають ядерно-магнітною релаксацією.

Мета статті. Встановити основні чинники, які зумовлюють особливості геологічної будови міоценових відкладів газових та газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину за результатами вимірювання параметрів поперечного та поведовжнього часу релаксації порід-колекторів методом ядерно-магнітного резонансу.

Методи дослідження. Поперечний час релаксації (ПЧР) T_2 характеризує зменшення величини намагніченості, яка виражена вектором намагніченості $\vec{M}$ в напрямку дії прикладеного поля напруженістю H_0 . У гірських породах поперечний час релаксації характеризується часом взаємодії між собою магнітних спінів. Отримати таку ситуацію можна двома способами, суть яких полягає в тому, що на зразок гірської породи діють двома прямокутними високочастотними електромагнітними імпульсами в послідовності $90^\circ - t - 180^\circ$ ($p/2$ і p). За величиною амплітуди сигналу вільної прецесії ($A_{\text{спп}}$), яка є функцією часу поляризації між високочастотними імпульсами, можна вирахувати T_2 . У момент часу $2t$ на екрані осцилографа можна спостерігати сигнал "спінового-еха". Змінюючи час t між двома імпульсами, можна отримати релаксацийну криву, зумовлену часом поперечної релаксації T_2 . Однак при цьому слід врахувати те, що часовий інтервал між приходом імпульсів Dt повинен задовольняти умову $Dt^3 \ll T_1$ [7]. Окрім цього, в процесі вимірювання T_2 суттєву роль відіграє самодифузія іонів, про що свідчать дослідження Д. Кордо, Парсе. Вони у своїх роботах [3] показали, що вплив дифузії на вимірювану величину поперечного часу T_2 можна звести до мінімуму, якщо використати імпульсну послідовність $90^\circ - t - 180^\circ - 2t - 180^\circ$. За такої послідовності на зразок гірської породи замість одного діє декілька p -імпульсів. Таким чином, після дії кожного p -імпульсу спостерігається спад сигналу спінового-еха. Проведені вимірювання амплітуди сигналу спінового-еха на зразках гірських порід, дозволили отримати криву спаду, або затухання сигналу вільної прецесії внаслідок поперечної релаксації для конкретних порід нафтогазових родовищ. Враховуючи те, що величина напруженості збуджувального електромагнітного поля H_1 точно не відома, то для зведення до мінімуму впливу самодифузії іонів нами використовувалися p -імпульси, в яких регулювалася тривалість часу проходження збуджувального імпульсу t_p і вибиралося таке значення, за якого величина амплітуди вільної прецесії і спінового-еха була максимальна як після $p/2$ -імпульсу.

лєсу, так і після р-імпульсу. Такий підхід до вивчення поперечного часу релаксації дозволяє суттєво зменшити похибку у визначенні поперечного часу релаксації гірських порід T_2 , які насичені тим чи іншим флюїдом. Перевага використання зразків порід як еталонів для визначення поздовжнього і поперечного часу релаксації T_1 і T_2 над використанням стандартних еталонів полягає в тому, що крива спаду амплітуд сигналу вільної прецесії і спінового-еха гірських порід спричинена однаковими факторами, які зумовлює як структура порового простору, так і мінералогічний склад порід, чого немає у стандартних еталонах. У цьому випадку необхідно врахувати те, що стандартні еталони приготовлені з водного розчину мідного купоросу максимальної концентрації (2 моль/л), якому відповідає час поздовжньої релаксації $T_1=0,75$ мс, дають тільки однокомпонентну складову релаксації. Час поздовжньої релаксації в цьому випадку розраховується із співвідношення:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1)$$

де C_1 , C_2 і T_1 , T_2 – відповідно концентрації водних розчинів мідного купоросу та їхні часи релаксації.

Щоб з'ясувати, як впливає густина та мінералізація розчину на величину часу релаксації гірських порід, насичених багатозафазовим флюїдом, проведено дослідження керну без попереднього його донасичення аналогом пластової води, донасичених, але не екстрагованих та насичених після екстрагування зразків.

Зразки порід, які виносились із продуктивних нафтонасичених відкладів геологічного розрізу без донасичення, досліджувалися на апаратурі ядерно-магнітного резонансу АОКС-1 при кімнатній температурі. Після цих вимірів зразки висушувалися в сушильній шафі при температурі 105°C. Висушені зразки знову поміщалися в датчик релаксометра, вимірювалась величина СВП. Залишкова нафта, яка була в поровому просторі, в першому та в другому випадках сигналу вільної процесії не давала. Звідси випливає, що густа окиснена залишкова нафта не робить свого внеску в загальний сигнал вільної процесії, який отримується при ядерно-магнітному каротажі в розрізі свердловин.

Дослідження не екстрагованого керну, але донасиченого розчином NaCl концентрації 75 г/л показав, що релаксаційні характеристики більшості зразків описуються двома компонентами. Компонента, яка має більший час поздовжньої релаксації, називається першою компонентою, або довгою. Компонента, яка має менше значення величини T_1 , називається другою, або короткою компонентою. Поперечний час релаксації таких зразків здебільшого описується одною компонентою. Величина T_2 значно менша, ніж T_1 . Зв'язок між поздовжнім і поперечним часом релаксації лінійний і виражений формулою

$$T_2 = 0,776T_1, r = 0,96. \quad (2)$$

Внаслідок достатньо тісного кореляційного зв'язку між T_1 і T_2 , з'являється можливість графічного визначення поперечного часу релаксації за визначеною величиною поздовжнього часу T_1 .

Одним з основних фізичних параметрів, які реєструються ядерно-магнітним методом, є індекс вільного флюїду (ІВФ). Цей параметр визначається тільки часткою флюїду, що насичує породу і здатний переміщатися в пустотному просторі під дією перепадів тиску. Характеризується ІВФ відношенням початкової амплітуди сигналу вільної прецесії в певному об'ємі породи до амплітуди $A_{\text{СВП}}$ в рівному їй об'ємі дистильованої води. Іншими словами, ІВФ відповідає відношенню чисел протонів вільного флюїду, що вміщується в однакових об'ємах породи і дистильованої води [1, 2]. Враховуючи те, що час поздовжньої релаксації T_1 , та індекс вільного флюїду тісно пов'язані з колекторськими властивостями гірських порід, проведено

дослідження з метою встановлення кореляційних зв'язків ІВФ із коефіцієнтами водонасичення K_e , залишкового водонасичення $K_{e,з}$, пористістю K_p та глинистістю C_{gl} . Коефіцієнт залишкового водонасичення визначався методом центрофугування та гравітермометрії. Оскільки в експерименті були задіяні зразки керну різної пористості від 4 % до 28 %, а також різної глинистості від 1,5 % до 18 %, то нами проаналізовано вищевказані петрофізичні зв'язки параметрів для конкретних умов вимірювань. Таким чином, були виділені три типи зв'язку:

- для порід пористістю 20 %; глинистістю 1,5 %; залишковою водонасиченістю $K_{e,з}=8$ %;
- для порід пористістю 9 %; глинистістю 10 %; залишковою водонасиченістю $K_{e,з}=14,5$ %;
- для порід пористістю 4 %; глинистістю 18,5 %; залишковою водонасиченістю $K_{e,з}=22$ %.

Амплітуда сигналу вільної прецесії $A_{\text{СВП}}$ для зразків першого типу характеризується більш пологою кривою спаду загального водонасичення, що пояснюється як самою структурою порового простору, так і наявністю незначної глинистості в породі. У другому і третьому випадках крива спаду має більш лінійний характер і характеризується незначним часом висушування зразка (рис. 1). У ряді робіт [5, 6, 8–10] дослідниками встановлено, що зв'язок індексу вільного флюїду з водонасиченістю має лінійний характер. Для неогенових відкладів газоконденсатних родовищ проводилися аналогічні дослідження. За результатами яких встановлено кореляційну залежність, що характеризується рівнянням

$$r e \Phi = 1,2 \text{ ж.} - 9,26, \quad r = 0,90. \quad (3)$$

Як видно з рис. 1, продовження осереднювальної прямої до перетину з абсцисою графіка залежності $IBF=f(K_e)$ дасть значення залишкової об'ємної насиченості, при якій $IBF=0$.

Після аналізу результатів вимірювання індексу вільного флюїду зразків керну до і після екстрагування встановлено, що значення ІВФ екстрагованих зразків вище від значень ІВФ неекстрагованих зразків. Пояснюється це тим, що в результаті екстрагування збільшилась частина пустот, які були зайняті густою окисненою нафтою, яка не давала сигналу вільної прецесії. Зв'язок індексу вільного флюїду з пористістю вивчався на зразках порід-колекторів, відібраних із кам'яновугільних відкладів Дніпро-Донецької западини та неогенових відкладів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину (табл. 1). Встановлено, що для однорідних і достатньо значної потужності пластів можна користуватися формулою

$$r e \Phi = 0,93 \text{ ж.} - 0,7 \quad r = 0,9. \quad (4)$$

Для тонкопрошаркового розрізу використати встановлений кореляційний зв'язок неможливо у зв'язку з неоднорідністю складу прошарків, а також їхньої незначної товщини.

Дослідження зразків керну, відібраного з водоносних порід, проводилось аналогічно дослідженням релаксаційних характеристик проєкстрованих зразків. У результаті експериментальних робіт встановлено, що релаксаційна характеристика зразків порід-колекторів здебільшого однокомпонентна, за формою різна для тих же порід тільки різної пористості. Низькопористі зразки, величина коефіцієнта пористості (K_p) яких змінюється в межах від 3 % до 6 %, характеризуються низькими значеннями T_1 (від 25 мс до 75 мс), середнє значенні $T_1=36$ мс. Індекс вільного флюїду в таких породах змінюється від 0 до 5 %. Коефіцієнт залишкового водонасичення всіх зразків змінюється від 28 % до 83 %, для них характерна досить низька проникність $0,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. Як правило, породи з такими характеристиками є неколекторами і не становлять пошукового інтересу.

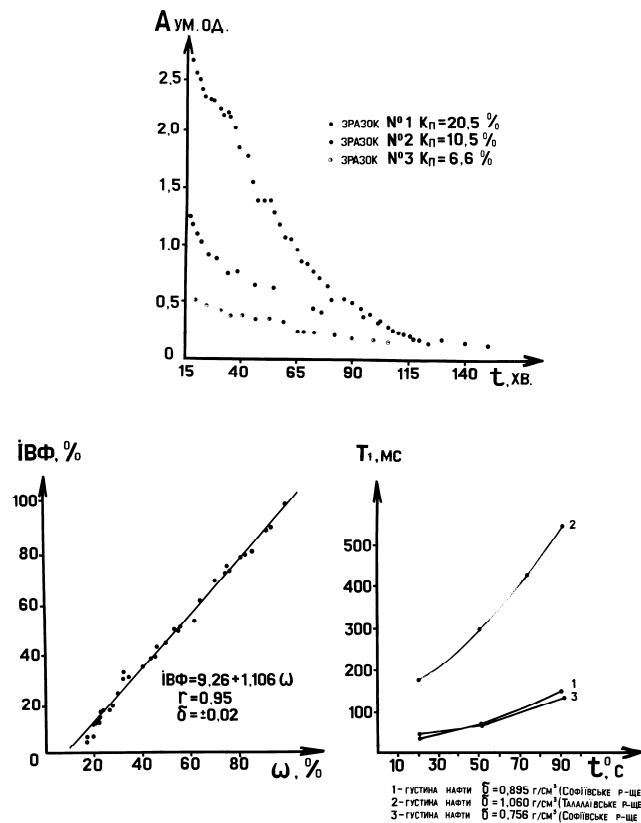


Рис. 1. Взаємозв'язки між ядерно-магнітними параметрами та фізичними властивостями порід і флюїдів

Таблиця 1

Результати дослідження індексу зниження амплітуди і поздовжнього часу релаксації нафти із продуктивних горизонтів родовищ ДДЗ

№ п/п	Родовище	Свердловина	Інтервал припливу, м	t°C	Характеристика флюїду	ІЗА	Повздовжній час релаксації	
							T ₁ , мс	%
1	Талалаєвська	9	3708-3709	20	Нафта	95	1766	100
2	Талалаєвська	19	3375-3385	20	Нафта	100	264	72
3	Софіївська	1	3863-3866	20	Нафта	64	45	100
4	Софіївська	1	3863-3866	20	Нафта	72	73	100
5	Софіївська	1	3863-3866	50	Нафта	76	79	100
6	Софіївська	1	3863-3866	50	Нафта	74	76	100
7	Софіївська	1	3863-3866	50	Нафта	69	72	100
8	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	83	140	100
9	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	87	151	100
10	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	86	147	100
11	Софіївська	1	3863-3866	50	Нафта	85	140	100
12	Софіївська	1	3863-3866	50	Нафта	84	150	100
13	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	80	139	100
14	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	81	144	100
15	Софіївська	1	3863-3866	90	Нафта	85	145	100

Друга група зразків, які досліджувалися, була представлена породами, релаксаційні характеристики яких близькі до релаксаційних характеристик зразків, відібраних із нафтонасичених порід після екстрагування. Величина часу поздовжньої релаксації T_1 змінюється від 90 мс до 400 мс і в середньому дорівнює 337 мс. Величина поперечного часу релаксації T_2 для зразків, відібраних із водоносних пластів менша від T_1 і в середньому дорівнює 220 мс. Треба відзначити, що з підвищенням у зразках вмісту глинистої фракції (від 2,7 % до 18,3 %) зменшувалось значення поздовжнього часу релаксації T_1 , а також величина індексу вільного флюїду (ІВФ). На наш погляд, це можна пояснити зростанням частки об'єму порожнеч, заповнених зв'язаною водою.

Вивчення впливу густини нафти, температури середовища на величину індексу вільного флюїду та поздовжнього часу релаксації проводилось із використанням

нафти, відібраної із кам'яновугільних відкладів Талалаєвського та Софіївського родовищ Дніпро-Донецької западини. Замість ІВФ вивчався параметр – індекс зниження амплітуди (ІЗА) сигналу вільної прецесії. Цей параметр характеризує процентне відношення початкової амплітуди сигналу вільної прецесії флюїду, що досліджується, до початкової амплітуди сигналу вільної прецесії дистильованої води того ж об'єму і температури. Як видно з табл. 1, нафта, відібрана із свердловин Талалаєвського родовища, характеризується високими значеннями індексу зниження амплітуди та значеннями поздовжнього часу релаксації T_1 , порівняно з такими ж параметрами для нафти, відібраної із Софіївського родовища. Виміри релаксаційних параметрів для обох типів нафти проводились як при кімнатній температурі, так і при нагріванні. Нафта, відібрана з продуктивних горизонтів Талалаєвського родовища, характеризується низь-

кою густиною ($\sigma_{\text{кр}} = 756,4 \text{ кг/м}^3$) і світло-коричневим кольором. У той же час нафта, відібрана із продуктивних горизонтів Софіївського родовища, на відміну від попередньої, характеризується низьким значенням індексу зниження амплітуди, яке коливається в межах 47,5 – 66,8 % і значно більшим значенням в'язкості. При нагріванні цієї нафти до температури 90°C зростає значення індексу зниження амплітуди до 83 %, а величина поздовжнього часу релаксації до 150 мс (рис. 2). Виходячи з цього, можна вважати, що сигнал, який ми отримуємо в свердловинних умовах за наявності такого флюїду, буде достатньо великим і впевнено зареєструється.

Аналізуючи вищенаведені результати ядерно-магнітних досліджень, вдалося встановити, що має місце збільшення часу поздовжньої релаксації проектрагованих зразків при незмінному співвідношенні частки довгої і короткої компоненти. Очевидно, у результаті екстрагування зразків керну об'єм великих пустот, які звільнились від окисненої нафти, значно більший, ніж об'єм дрібних пор. Збільшення величини короткої компоненти T_1 можна пояснити вимиванням солей із дрібних пор при екстрагуванні.

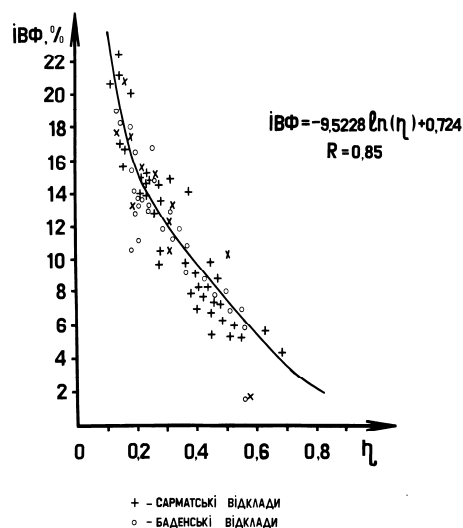


Рис. 2. Залежність зміни індексу вільного флюїду від глинистості

Висновки та завдання подальших досліджень. Таким чином, як видно з результатів проведених досліджень, індекс вільного флюїду, час поздовжньої релаксації та її швидкість значною мірою зумовлені мінералогічним складом гірської породи, структурою порового простору, глинистістю і характером насичення.

Завданням подальших досліджень є встановлення зв'язків ядерно-фізичних параметрів із показниками та результатами ядерно-магнітного каротажа при оцінці характеру насичення порід-колекторів складної будови Карпатської нафтогазоносною провінції та Дніпровсько-Донецької западини.

Список використаних джерел

1. Аксельрод С.М. Некоторые вопросы теории ядерно-магнитного каротажа / С. М. Аксельрод, В. И. Даневич // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1969. – Вып. 56. – С. 182–189.
2. Аксельрод С.М. Ядерные и магнитные методы исследования скважин / С. М. Аксельрод, В. И. Даневич, В. М. Запорожец и др. – М.: Недра, 1976. – 127 с.
3. Вор Д.С. Когерентные средние эффекты в магнитном резонансе / Дж. С. Вор // Физикревию. – 1968. – С. 453–467.
4. Запорожец В.М. Магнитно-резонансные методы каротажа / В. М. Запорожец. – М.: ВНИИОЭНГ, 1968. – 35 с.

Враховуючи те, що ядерно-магнітні властивості порід залежать від їх поверхневої активності, нами проводились дослідження впливу відносної глинистості η на величину індексу вільного флюїду. У результаті проведених досліджень нами побудовано графік $\text{iФФ} = f(\eta)$ (рис. 3). Як видно із графіка, між параметрами, що порівнюються, існує достатньо тісний зв'язок (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,85), диференціація порід за типами при цьому не спостерігається.

Для з'ясування впливу поверхневої активності порід на релаксаційні характеристики порід проводились зіставлення приведених ємності катіонного обміну q_n і гігроскопічної вологості W_r із швидкістю релаксації, яка характеризується параметром $R = 1/T_1 - 1/T_{13\text{В}}$ (рис. 3). Із побудови видно, що між названими параметрами немає чіткої залежності. Пояснюється це тим, що вміст глинистого матеріалу в більшості зразків, які досліджувалися, незначний. В основному в породах присутній слабоактивний каолінит.

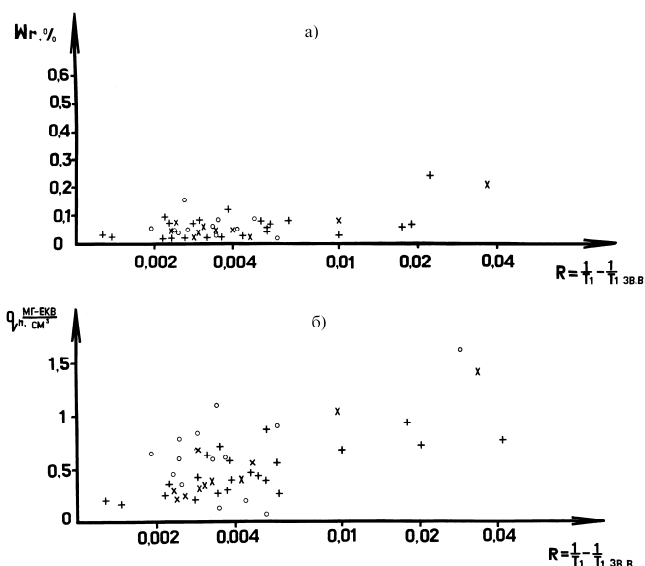


Рис. 3. а) Графік залежності швидкості спин-решіткової релаксації R від гігроскопічної вологості W_r ; б) Графік залежності швидкості спин-решіткової релаксації R від приведеної ємності катіонного обміну q_n

5. Рудзень Р.В. Зависимость амплитуды сигнала свободной прецессии протонов и глубиныности ЯМК от величины остаточного поля поляризации / Р. В. Рудзень, Э. В. Былина, В. Д. Неретин // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1967. – № 4. – С. 49.

6. Федоришин Д.Д. Вивчення складнобудованих колекторів методом ядерно-магнітного резонансу / Д. Д. Федоришин // ІФДТУНГ. Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу ун-ту. – Івано-Франківськ, 1995. – Ч. 1. – С. 82–83.

7. Федоришин Д.Д. Вивчення тонкопорошкових розрізів міоцену Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину методами ГДС / Д. Д. Федоришин // Тези доп. і повідомлень наук.-прикл. конф., присвяченої 50-річчю ЗУГРЕ, Львів, 20-21 травня 1998 р. – С. 70–71.

8. Федоришин Д.Д. Використання радіоактивних та ядерно-магнітних методів для літологічного розчленування тонкопорошкових розрізів / Д. Д. Федоришин. // ІФДТУНГ. Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу ун-ту. – Івано-Франківськ, 1995. – Ч. 1. – С. 47.

9. Федоришин Д.Д. Особливості геологічної будови розрізу газових родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину, як перспектива пошуку енергетичних джерел / Д. Д. Федоришин // Нетрадиційні енергоресурси та екологія України: 36. наук. праць. – К.: Манускрипт, 1996. – С. 85–87.

10. Федоришин Д.Д. Розподіл радіоактивних ізотопів урану, торію і калію в породах міоценових відкладів та їх вклад в загальну радіоактивність / Д. Д. Федоришин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: 36. наук. праць ІФДТУНГ. – Івано-Франківськ, 1998. – № 35. – С. 124–126.

11. Brown R.I.S. Proton Relaxation in Grude Oils / R. I. S. Brown // Nature. – 1961. – Vol. 189, № 4. – P. 387–388.

12. Brown R.I.S. Proton spin relaxation in pore water / R. I. S. Brown // Bull. Am Phys. Soc., Ser. 11. – 1958. – Vol 3. – P. 166.

13. Robinson I.D.. Determining residual oil with the Nuclear Magnetism Log / I. D. Robinson, I. D. Loren, D. E. Hartman // J of Petrol. Techn. – 1974. – № 2. – P. 226–236.

References

1. Aksel'rod, S.M., Danevich, V.I. (1969). Nekotorye voprosy teorii yadernomagnitnogo karotazha. Prikladnaya geofizika. Moscow: Nedra. [in Russian].

2. Aksel'rod, S.M. Danevich, V.I., Zaporozhetc, V.M. et al. (1976). Iadernye i magnitnye metody issledovaniia skvazhin. Moscow: Nedra. [in Russian].

3. Vog, D.S. (1968). Kogerentnye srednie jeffekty v magnitnom rezonanse. Fizikrev. 453-467.

4. Zaporozhec, V.M. (1968). Magnitno-rezonansnye metody karotazha. Moscow. [in Russian].

5. Rudzenja R.V. (1967) Zavisimost' amplitudy signala svobodnoj precesii protonov i glubinnosti JaMK ot velichiny ostatocznogo polja poljarizacii. Neftegazovaya geologija i geofizika, 4, 49.

6. Fedoryshyn, D.D. (1995). Vyvchennya skladnopobudovanykh kolektoriv metodom yadernomagnitnoho rezonansu. IFDTUNH. Tezy dop. nauk.-tekhn. konf. prof.-vykl. skladu un-tu. P. 1. Ivano-Frankivsk, 82 – 83. [in Ukrainian].

7. Fedoryshyn, D.D. (1998). Vyvchennya tonkoproscharkovykh rozriziv miotsenu Bil'che-Volyts'koyi zony Peredkarpats'koho prohynu metodamy. Tezy dop. i povidomlen' nauk.-prykl. konf., prysvyachenoyi 50-richchyu ZUHRE. Lviv, 70 – 71. [in Ukrainian].

8. Fedoryshyn, D.D. (1995). Vykorystannya radioaktyvnykh ta yadernomagnitnykh metodiv dlya litolohichnoho rozchlenuvannya tonkoproscharkovykh rozriziv. IFDTUNH. Tezy dop. nauk.-tekhn. konf. prof.-vykl. skladu un-tu. P. 1. Ivano-Frankivsk, 47. [in Ukrainian].

9. Fedoryshyn, D.D. (1996). Osoblyvosti heolohichnoyi budovy rozrizu hazovykh rodovyschch Bil'che-Volyts'koyi zony Peredkarpats'koho prohynu, yak perspektyva poshuku enerhetychnykh dzherel. Zbirnyk naukovykh prats'. Kyiv: Manuscript, 85 – 87. [in Ukrainian].

10. Fedoryshyn, D.D. (1998). Rozpodil radioaktyvnykh izotopiv uranu, toriyu i kaliyu v porodakh miotsenovykh vidkladiv ta yikh vklad v zahal'nu radioaktyvnist'. Rozvidka i rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyschch. Zbirnyk naukovykh prats', 35. 124 – 126. [in Ukrainian].

11. Brown, R.I.S. (1961). Proton Relaxation in Grude Oils. Nature, 4, 387 – 388.

12. Brown, R.I.S. (1958). Proton spin relaxation in pore water. Am Phys Soc, 3, 166.

13. Robinson, I.D., Loren, I.D., Hartman, D.E. (1974). Determining residual oil with the Nuclear Magnetism Log. J of Petrol. Techn., 2. 226 – 236.

Надійшла до редколегії 21.10.17

D. Fedoryshyn, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: geophys@nung.edu.ua

A. Trubenko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: geotom@nung.edu.ua

S. Fedoryshyn, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: geophys@nung.edu.ua

Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas

15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

METHODS OF MEASURING THE TIME OF RELAXATION OF NEOGENE AND CARBONIFEROUS RESERVOIR ROCKS GAS AND OIL FIELDS BY NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE METHOD

The results of study of nuclear-magnetic parameters for productive gas-saturated reservoir rock of the Neogene deposits at gas and gas condensate fields of the Bilche-Volytska zone Precarpathian Foredeep are considered in the paper. The correlation of physical and petrophysical parameters between the nuclear-magnetic parameters for reservoirs of the Neogene deposits Bilche-Volytska zone Precarpathian foredeep is shown. The dependence of the change of free fluid index on shaliness is established. The influence of rocks surface activity on their relaxation characteristics of Neogene and Carboniferous deposits is revealed and grounded. The established connection is obtained by comparing the reduced capacity of the cation exchange g_n and the hygroscopic moisture W_2 with the velocity of longitudinal relaxation ($1/T_1$).

Keywords: rock-collector, free fluid index, nuclear-magnetic parameters, relaxation characteristics, relaxation time.

Д. Федоришин, д-р геол. наук, проф., зав. каф. НГГ

E-mail: geophys@nung.edu.ua

А. Трубенко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: geotom@nung.edu.ua

С. Федоришин, канд. геол. наук, доц.

E-mail: geophys@nung.edu.ua

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НЕОГЕНОВЫХ И КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГАЗОВЫХ И НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Рассматриваются результаты изучения ядерно-магнитных параметров продуктивных газонасыщенных пород-коллекторов неогеновых отложений газовых и газоконденсатных месторождений Бильче-Волицкой зоны Предкарпатского прогиба. Приведены взаимосвязи физических и петрофизических параметров между ядерно-магнитными характеристиками пород-коллекторов неогеновых отложений Бильче-Волицкой зоны. Установлено зависимость изменения индекса свободного флюида от глинистости. Выявлено и обосновано влияние поверхностной активности пород на их релаксационные характеристики неогеновых и каменноугольных отложений. Установлена связь, которая найдена путем сопоставления приведенной емкости катионного обмена g_n и гигроскопической влажности W_2 со скоростью продольной релаксации ($1/T_1$).

Ключевые слова: порода-коллектор, индекс профильного флюида, ядерно-магнитные параметры, релаксационные характеристики, время релаксации.

УДК 551.44

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
А. Сачко, канд. хім. наук, доц.
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Інститут біології, хімії та біоресурсів, вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна
М. Чурубров, голов. спец.
І. Мамишев, ст. наук. співроб.
Інститут геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

НОВІ ДАНІ ПРО ГАЗОВИЙ СКЛАД ПОВІТРЯ ГІПСОВИХ ПЕЧЕР ПОДІЛЛЯ І БУКОВИНИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

У роботі наведено нові результати вивчення газового складу повітря (ГСП) печер Поділля (Атлантида, Оптимістична, Млинки) та Буковини (Попелюшка) хроматографічним методом. Порівняння ГСП виконане на підставі проб повітря, відібраних у зимовий період.

Підтверджені раніше відомі особливості ГСП печер. Зокрема показано, що повітря печер містить підвищену кількість CO_2 порівняно з атмосферним повітрям. Найвищі концентрації CO_2 зафіксовані в Попелюшці (4,10 об.%), а найнижчі – в Оптимістичній (0,12 об.%).

Крім того, спостерігається збіднення киснем повітря віддалених від бортів гіпсового блоку частин Оптимістичної. У цій печері також виявлені гелій та водень у значних концентраціях, що дозволяє передбачати глибинні розломні порушення в межах печерного поля.

Встановлено довготермінову стабільність ГСП печери Попелюшка та показано відсутність метану в її повітрі.

Виявлені зміни ГСП печер, пов'язані з антропогенним навантаженням. Зокрема в печері Атлантида відмічається забруднення повітря вуглеводнями.

Ключові слова: газовий склад повітря, карстова печера, гіпс, Подільсько-Буковинська карстова область, Атлантида, Млинки, Оптимістична, Попелюшка.

Вступ. Газовий склад повітря (ГСП) печер сульфатного карсту формується на основі атмосферного повітря під дією широкого комплексу чинників, а саме: інфільтрація легких газів з надр по розломних порушеннях, розклад органічної складової заповнювача печер, водний перенос та інфільтрація важких газів із ґрунту тощо. Зміни концентрацій окремих компонентів ГСП можуть виступати індикаторами сучасних і минулих геологічних процесів, що відбуваються на території Поділля і Буковини.

За даними досліджень ГСП печер Поділля і Буковини у 1979–1982 рр. (печери Оптимістична, Озерна, Кришталева, Млинки, Атлантида), об'ємна частка $\text{O}_2 + \text{Ar}$ становила 15,45–22,62 %, N_2 – 77,22–82,40 %, CO_2 – 0,03–3,97 %, для печери Попелюшка: $\text{O}_2 + \text{Ar}$ – 12,74–21,88 %, N_2 – 77,29–84,69 %, CO_2 – 0,09–4,45 % [10].

Достовірно встановлено факт підвищення об'ємного вмісту CO_2 в гіпсових печерах Поділля. Атмосфера печери Попелюшка характеризується як гіпоксично-гіперкапічна [4, 6]. Неодноразово наголошувалося про необхідність проведення моніторингових спостережень окремих компонентів ГСП [1, 2, 4, 6–8, 10].

Автори вирішили повернутись до питання ГСП печер у зв'язку з отриманням нових даних щодо печер Млинки, Атлантида, Оптимістична, Попелюшка хроматографічним методом.

Постановка проблеми. Серед печер Подільсько-Буковинської карстової області є такі, що перебувають у реліктовому стані, і такі, що переживають період встановлення гідроатмогеохімічної рівноваги. Не припиняється дія факторів, що формують ГСП печер. Відбуваються глобальні зміни складу атмосферного повітря, яке є основою для ГСП печер. Все більшого значення набуває зростаюче антропогенне навантаження на середовище печер, як внаслідок, власне, відвідування, так і видобувної і сільськогосподарської діяльності в межах печерних полів. Вивчення ГСП печер має важливе значення для вирішення різних питань загальної та регіональної гідрогеохімії [10] і тектоніки.

Мета роботи. Дослідити закономірності зміни ГСП печер Подільсько-Буковинської карстової області та порівняти з ретроспективними даними. Виділити основні чинники просторових і часових змін ГСП окремих печер.

Обґрунтувати використання атмогеохімічних даних з порожнин сульфатного карсту з метою прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід.

Об'єкти дослідження. Проби повітря відбиралися в 4 печерах Подільсько-Буковинської карстової області (рис. 1). Три з них – Млинки (50 км), Оптимістична (250 км) та Атлантида (8 км) приурочені до долин Серету та Збруча, вони закладені в товщі гіпсів тираської світи, що належить до середньобаденського під'ярусу неогена (N_{1bd^2}). Товща, що перекидає, представлена ратинськими вапняками (належать до тієї ж світи) й товщею глин сарматського віку (N_{1s^1_2}) [9]. Печери Млинки, Оптимістична та Атлантида утворилися за рахунок висхідного перетоків підземних вод через гіпси на площах прадолин Дністра і його лівих приток. Нині вони перебувають у реліктовому стані [7].



Рис. 1. Карта-схема розташування печер у межах неогенової гіпсової товщі:

1 – Млинки; 2 – Оптимістична; 3 – Атлантида; 4 – Попелюшка

Четверта печера – Попелюшка (92 км) – закладена у Кривсько-Мамалізькому блоці, що частково здренований р. Прут, розташованою поблизу, і відкачкою з Кривського гіпсового кар'єра. Головною особливістю печери є недавнє її осушення, адже карстовий лабіринт виявився зневодненим лише з кінця 60-х рр. Печера Попелюшка була розкрита на етапі, коли вона була майже повністю заповнена водою. Подільські лабіринти пройшли цей етап на сотні тисяч років раніше. Так печера Атлантида, згідно з палеомагнітними даними, отриманими по водомеханічних відкладах, була повністю осушена не пізніше середнього плейстоцену,

тобто щонайменше 780 тис. р. тому [3, 5]. Недавнє осушення і більш молодий вік печери Попелюшка визначили не тільки своєрідність її внутрішнього вигляду, а й активність різних процесів, у результаті яких формується мікроклімат печери і ГСП у ній.

Методика відбору зразків та лабораторних досліджень. ГСП вивчений нами в печерах Атлантида (8 зразків), Млинки (10 зразків), Оптимістична (10 зразків), а також у печері Попелюшка (10 зразків). Зважаючи на повідомлення про сезонну мінливість ГСП печер [1, 2, 8, 10], зразки відбиралися тільки в періоди, коли середньодобова температура на поверхні не піднімається вище +5 °С. Це дає змогу порівнювати між собою ГСП різних печер у "зимовий" час.

Проби повітря відбиралися у віали ємністю 100–300 мл з гумовою пробкою. Перед відбором проб віали заповнювали насиченим розчином натрій хлориду (NaCl), підкисленим концентрованою хлоридною кислотою в співвідношенні (1 мл кислоти на 1000 мл розчину).

Вимірювання концентрації вуглекислого газу, гелію, водню, метану та його гомологів виконані в лабораторії відділу геоекології та пошукових досліджень ІГН НАН України із застосуванням газових хроматографів ЛХМ-8МД, "3700", "Кристаллюкс-4000М" та аналітичних комп'ютерних комплексів обробки хроматограм Tool Box та Net Chrome [11].

Для отримання достовірних результатів перед початком проведення вимірювань хроматографи були відкалібровані за допомогою повітряних газових сумішей із такою концентрацією газів, яка відповідає очікуваній концентрації в пробах.

Визначення концентрації гелію та водню виконано на хроматографі "Кристаллюкс-4000М", як газ-носії застосовувався аргон. Аналіз проведено при температурі колонки 40 °С. Об'єм проби – 1 см³. Чутливість методу – 5х10⁻⁴ об. %, при похибці вимірювання 5,5 %.

Визначення вмісту вуглеводнів (С₁–С₆) виконано на хроматографі моделі "3700" з плазмово-іонізаційним детектором, як газ-носії застосовувався азот. Поріг визначення концентрації вуглеводнів С₁–С₃ становить (6–8)х10⁻⁷ об.%, для вуглеводнів С₄–С₆ – 1х10⁻⁶ об.%, похибка визначення 10 %. Об'єм проби для хроматографічного аналізу – 1 см³.

Аналіз вмісту в пробах вуглекислого газу проведено на хроматографі ЛХМ-8 МД, газ-носії – гелій. Аналіз проведено в ізотермічному режимі при температурі колонки 55 °С. Чутливість аналізу – 5х10⁻⁴ об. %, похибка вимірювання близько 5,5%. Об'єм проби для аналізу – 1 см³.

Результати досліджень ГСП печер та їх обговорення. У табл. 1 наведені дані вимірювань ГСП печер Атлантида, Млинки, Оптимістична та Попелюшка.

Таблиця 1

Газовий склад повітря окремих печер, "зимові" відбори зразків

№ п/п	Місце відбору	Вміст фракції, об.%						
		O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄ , ωх10 ⁻⁴	C ₂ H ₆ ,ωх10 ⁻⁶		
Печера Попелюшка, 2013 р.								
1	Поверхня	21,0	78,5	0,06	7,2	-		
2	Дно колодця	20,7	78,2	0,25	5,0	-		
3	Зала Чернівецьких спелеологів	18,8	78,5	1,4	0,12	5,7		
4	Анаконда	18,4	78,6	1,6	0,94	5,4		
5	Факела	19,0	79,5	1,8	0,77	3,5		
6	Туди-Сюди	19,3	80,4	1,6	0,83	5,9		
7	ОП-17	17,2	77,8	2,6	0,63	4,9		
8	Соска R-54	17,3	80,1	2,5	0,79	8,6		
9	Телефон	16,0	78,8	3,5	0,58	-		
10	Оз. Сірководневе	15,6	77,9	4,0	0,54	-		
11	Оз. Сірководневе (віддалений край)	15,9	79,5	4,1	0,50	2,3		
12	Хід Спрінт, пікет 50	15,7	78,7	4,0	0,23	5,8		
13	Хід Купріч&Ko, пікет334	15,7	80,5	3,8	0,40	3,8		
Печера Млинки, 2013 р.								
1	Поверхня, поле над печерою	21	79	0,12	3,2	1,6		
2	Поверхня, 15 м від входу	21	78,6	0,11	3,2	1,5		
3	Зала Брест	20,8	79,1	0,36	2,0	0,75		
4	Горбокопик	20,9	78,2	0,26	2,6	1,6		
5	Зала спелеологів	20,8	78	0,83	2,0	0,87		
Печера Атлантида, 2016 р.								
1	Поверхня	21,0	77,7	0,7	13	43		
2	Зала Радості, верхній ярус печери	20,7	77,6	0,6	5,0	3,0		
3	Зала Посвят	20,7	77,7	0,6	4,7	2,0		
4	Зала Глобус	21,0	78,2	0,8	5,5	2,1		
5	За глинистим перелазом	21,0	76,3	0,6	7,1	2,4		
6	Правий Китовий вус, підвал	20,1	73,9	0,8	8,6	1,8		
7	Проспект Яворського	21,0	77,5	0,6	3,6	0,92		
8	Район Амазонія, Песик	20,7	77,9	0,6	4,1	0,94		
9	Район Помпеї, Везувій	20,6	77,6	0,9	3,1	0,78		
Печера Оптимістична, 2015 р.								
		He, ωх10 ⁻³	H ₂ , ωх10 ⁻⁴	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄ , ωх10 ⁻⁴	C ₂ H ₆ ,ωх10 ⁻⁶
1	поверхня	—	-	20,1	78,5	0,76	2,5	1,5
2	Роздоріжжя Пенюк	2,4	-	20,1	78,5	0,27	1,4	2,0
3	Галерея "Сніговик"	1,7	-	20,1	78,5	0,50	1,1	0,95
4	Р-н Оазис, галерея Караганда	0,32	-	19,7	78,5	0,46	1,1	2,0
5	Галерея Авербаха	3,7	14	19,9	78,5	0,29	1,2	1,7
6	Табір Собаче життя	0,78	-	20,9	78,1	0,26	1,2	2,1
7	Табір Сива кобила	2,5	3,4	21,0	78,6	0,27	1,2	1,8
8	Табір Озерний	—	6,5	20,7	78,0	0,18	1,7	3,5
9	Хід Канделябр	-	-	20,8	78,6	0,12	2,0	5,1
10	Роздоріжжя Бронік	-	-	20,4	78,7	0,47	1,1	2,7
11	Галерея Радіолукс	-	-	19,9	78,2	0,49	2,3	13,0
12	Табір Му-му	3,1	-	20,3	78,0	0,34	1,3	2,8

Печера Атлантида. Відібрано 8 зразків з різних частин печери. Вміст кисню коливається у межах 20,1–21,0 об.%, вміст CO_2 становить 0,6–0,9 об.%, азоту – 77,5–78,9 об.%. Як бачимо, повітря печери збагачене вуглекислим газом. Крім того, на прикладі цієї печери можна оцінити вплив людини на печерну атмосферу, оскільки стара частина печери відкрита у 1968 р. активно відвідується, а в 2011 р. була відкрита нова частина, яка є заповідною, доступ людей туди обмежений. У старій частині відібрані зразки 1–5, у новій 6–8. Як бачимо, в заповідній частині печери концентрації етану та метану на порядок нижчі, ніж у старій частині печери, що дає підстави пов'язати підвищені концентрації вуглеводнів з антропогенним забрудненням повітря (рис. 2). Не маючи точних даних про інтенсивність антропогенного навантаження на печерне середовище, тим не менше, можна стверджувати, що глибокій дифузії вуглеводнів до печерного повітря з атмосферного сприяє активна відвідуваність печери людиною.

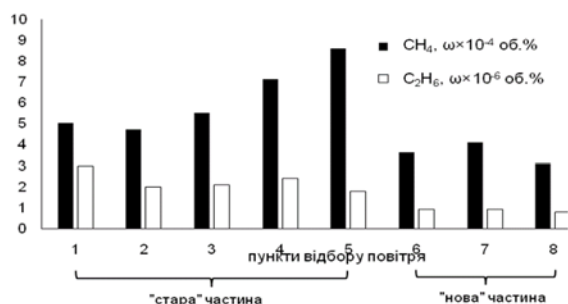


Рис. 2. Вміст вуглеводнів у повітрі печери Атлантида

Печера Оптимістична. Вміст кисню близький до атмосферного повітря, лише повітря далеких від входу і бортів вміщувального гіпсового блоку районів (р-н Оазис, р-н Авербаха, галерея Радіолукс) збіднене киснем (19,7–19,9 %). Вміст CO_2 становить 0,12...0,5 об.%, тобто підвищений, вміст азоту майже постійний в усіх пробах – 78,0–78,7 об.%.

У повітрі 6 з 11 зразків знайдений гелій у концентраціях 0,78–3,1 × 10⁻³ об.%, що перевищують середнє атмосферне значення 0,52 × 10⁻³ об. % [13]. У 3 пунктах знайдений також водень у значних концентраціях. Наявність цих газів у повітрі печери свідчить про тектонічні порушення на даній території, в межах яких підвищується проникність гірських порід. Отже, можна стверджувати, що печера Оптимістична закладена в зоні глибинного розлому.

Вміст метану (CH_4) приблизно відповідає середньому значенню для атмосферного повітря 1,7 × 10⁻⁴ об. % [13].

Печера Млинки. Вмісти O_2 та N_2 відповідають атмосферним, концентрація CO_2 дещо підвищена і становить 0,26...0,83 об. %.

Загальною особливістю для трьох печер є також підвищений вміст CO_2 на поверхні над печерним полем і біля входів. Вміст метану (CH_4) та інших вуглеводнів у печерах Поділля визначається інтенсивністю відвідування печер.

Печера Попелюшка. Газовий склад повітря в Попелюшці є найбільш вивченим серед усіх печер. Його вимірювання проводяться регулярно з 70-х рр. [1, 2] у зв'язку з проблемою безпеки дослідників печери, а також у рамках спелеомедичних експериментів [4, 6]. Наші спостереження підтверджують давно відомий своєрідний ГСП цієї печери: підвищений вміст вуглекислого газу 0,25–4,10 % (за даними [2] 0,2–4,5 %) і понижений – кисню 15,6–20,7 % (за даними [2] 13,7–19,5 %). Причому концентрація вуглекислого газу зростає, а кисню – зменшується в міру віддалення від вхідної частини лабіринту (рис. 3).

Головний практичний інтерес у спелеологів традиційно викликає питання просторового розподілу загасованості CO_2 в печері, а також її часова динаміка.

Як відомо, вуглекислий газ може потрапляти до печери з грутового шару, де він утворюється внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. Оскільки CO_2 має велику молекулярну вагу порівняно з іншими компонентами повітряної суміші, він здатен опускатися по тріщинах і провальних колодязях, заходячи до печери з повітрям та інфільтраційними водами. Також вуглекислий газ разом з вуглеводнями і легкими газами (гелієм, воднем) може мігрувати з глибин геологічного розрізу по зонах дроблення гірських порід і уздовж глибинних розломів.

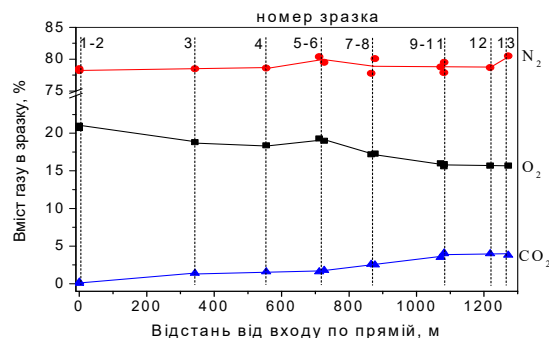


Рис. 3. Зміна вмісту O_2 – N_2 – CO_2 у складі повітря печери Попелюшка за даними газової хроматографії. Номери зразків відповідають таким у табл. 2

У Попелюшці основним джерелом CO_2 на підставі мікробіологічних визначень визнаний пухкий заповнювач, де відбуваються процеси окиснення органічних речовин і метану амоніфікуючими та метаноокиснювальними бактеріями [2]. CO_2 у повітрі печери має полегшений ізотопний склад, що теж підтверджує його біогенне походження [10].

У табл. 2 наведені результати вимірювань вмісту CO_2 у повітрі печери в різні роки різними приладами. На підставі хроматографічних визначень, виконаних карстовим загном Інституту геологічних наук у кінці 70-х – початку 80-х рр. побудовано поле концентрацій газу, вміст якого підвищується з віддаленням від входу до печери. Автори роботи [1] на підставі вимірювань портативним приладом DrägerX-am 7000 роблять висновок, що поле концентрацій CO_2 зберігає свою морфологію, але значення з плином часу зростають. Ми не можемо погодитись із таким висновком, адже найбільш точні і надійні хроматографічні визначення від листопада 1981 р. і наші, від грудня 2013 р., подібні, тобто вміст CO_2 в повітрі печери є стабільним у довгому інтервалі часу.

Це, однак, не виключає його локальні коливання, пов'язані з водним і сезонним повітряним режимом.

Нез'ясованою до кінця залишається роль води у газообміні печери. Спелеологи, які досліджують лабіринт багато років, засвідчують, що найбільш яскраво симптоми гіперкапнії проявляються в періоди високих рівнів води в основних печерних озерах і, навпаки, при низькій воді дихається легше. Можливо зростання рівнів води супроводжується збільшенням змоченої поверхні печерних відкладів внаслідок чого в них зростає активність мікроорганізмів, що продукують вуглекислий газ. Біогенний CO_2 , розчинений у воді, поступає в повітря. Проте для перевірки цих припущень необхідно провести систематичні багаторічні спостереження одночасно: за інтенсивністю відкачки води Кривським кар'єром, коливаннями рівнів, мінералізації і кількості розчиненого CO_2 у воді та зміною ГСП печери.

Іншою важливою рисою ГСП Попелюшки є майже повна відсутність метану. Його вміст на порядок менший, ніж

в атмосферному повітрі ($1,7 \times 10^{-4}$ об. % [13], (табл. 1)). Пояснити це можна наявністю в Попелюшці метанотрофних бактерій, які відсутні в печерах Поділля [12, О.Б. Таширєв, особисте повідомлення]. Метанотрофи споживають метан і виділяють CO_2 , зумовлюючи зростання його концентрації. Ймовірно, їх популяція була значною одразу після осушення печери і поступово зменшилась.

Водночас у роботі [2] наявні дані про значний (до 0,5%) вміст метану в повітрі печери в 1981-83-х рр. і прямий його зв'язок з CO_2 . У роботі [1] також повідомляється

про вміст метану 0,1-0,5% у 2008-2009 р. Отже, вимірювання, проведені в різні роки безпосередньо в печері за допомогою газоаналізатора і шахтного інтерферометра, показали метан. З іншого боку хроматографічні визначення 11.1981 р. (Н.Л. Яблокова, ІГН НАНУ) говорять про відсутність метану в атмосфері печери. І наші спостереження це підтверджують.

Таблиця 2

Моніторинг вмісту оксиду вуглецю (IV) у повітрі печери Попелюшка

№ п/п	Місце відбору	Час відбору та вимірювальний прилад									
		11.1982	04.1983	1986	1996	08.2008	08.2009	12.2013	05.2015	05.2016	12.2016
		Хроматограф [2]	Шахтний інтерферометр [2]	Хроматограф [6]	Хроматограф [4]	Dräger X-am 7000 [1]	Dräger X-am 7000 [1]	Хроматограф*	Шахтний інтерферометр **		
		Вміст CO ₂ , %									
1	Поверхня	0,03	0,00	0,04		0,0	0,0	0,06			
2	Дно колодця			0,25		0,4	0,0	0,25			
3	Морське око		0,00			0,00	0,0				1,2
4	Хребет		0,40			1,2	1,4				
5	ОП-2		0,35			1,4	1,4				
6	Оз. Студентське	1,55	1,40				2,2		2,6	2,5	
7	Оз. Бліків	1,40	1,30								
8	Оз. Філіпцово	0,85	0,85			1,8	1,6				1,7
9	Оз. Спелунка		1,80	3,00							
10	Зал Чернівецьких спелеологів		1,00	1,00	2,30	1,8	1,8	1,40	1,8	1,8	
11	Анаконда		1,80	2,50	2,72	2,6		1,60	2,4	2,6	
12	Оз. Сифон		1,55			2,4					
13	Оз. Крокодила	1,45					1,8				2,0
14	Копито					3,4					
15	Зал Динозавра		1,50			2,2					2,0
16	Баран						3,6				4,4
17	Учкудук						4,0				4,5
18	Факела				2,54			1,80	2,5	2,6	
19	Туди-Сюди				2,76			1,60	2,8	2,7	
20	ОП-17							2,60			
21	Соска				2,51		4,6	2,50		5,0	
22	Телефон				3,76		4,8	3,50	5,2	5,2	
23	Оз. Сірководневе							4,10			

*дані авторів; **дані ЧКС "Троглодит", отримані за допомогою шахтного інтерферометра ШІ-1.

У деяких районах печери, особливо при відборі зразків води та зрушенні донних відкладів озер, було зафіксовано різкий запах сірководню. Але при відборі зразків повітря авторами в таких місцях у 2013 р. жодних перевищень концентрацій цього газу виявлено не було. Вміст сірководню в місцях відбору коливався в межах $5,2-11 \times 10^{-5}$ %.

Результати наших спостережень у цілому подібні до стану 1981 р. і дозволяють говорити про довготермінову стабільність ГСП печери Попелюшка за останні 35 років.

Висновки. Показано, що в печерах Поділля найбільший вплив на склад повітря має ступінь ізольованості печери від поверхні. Вміст метану та інших вуглеводнів метанового ряду може виступати маркером антропогенного забруднення середовища печер Поділля, рівень якого необхідно враховувати, зокрема, при відборі зразків та інтерпретації даних мікробіологічних досліджень.

Наявність у повітрі Оптимістичної гелію і водню в значних концентраціях дозволяють передбачати на цій території глибинне розломне порушення.

Вкотре підтверджено, що повітря печер містить підвищену кількість CO_2 порівняно з атмосферним повітрям. Серед усіх досліджених порожнин найвищі концентрації CO_2 зафіксовані в Попелюшці, а найнижчі – в Оптимістичній. Причому максимальний вміст CO_2 в Попелюшці перевищував його максимальні зафіксовані концентрації в інших печерах майже в 4 рази.

Встановлена довготермінова стабільність ГСП Попелюшки за даними хроматографічних визначень. Проте отримані результати вказують на необхідність багаторічних моніторингових спостережень за параметрами водного та повітряного середовища печери.

Список використаних джерел

1. Андрейчук В. Пространственно-динамические особенности распределения CO_2 в воздухе пещеры Золушка / В. Андрейчук, И. Телешман, П. Куприч // Спелеология и карстология. – 2011. – № 7. – С. 15–25.
2. Андрейчук В.Н. Пещера Золушка / В. Н. Андрейчук. – Симферополь: Сосновец, 2007. – 407 с.
3. Бахмутов В.Г. Опыт палеомагнитного изучения пещерных отложений / В. Г. Бахмутов, К. П. Лагутин. // Физ. география и геоморфология. – 1985. – № 32. – С. 46–50.
4. Билецкий С. В. Гипоксически-гиперкапнические тренировки в кардиологии / С. В. Билецкий, А. И. Гоженко. – Черновцы: Медуниверситет, 2007. – 148 с.
5. Бондар К. М. Магнітостратиграфія та анізотропія магнітної сприйнятливості водно механічних відкладів карстової печери Атлантида / К. М. Бондар, І. В. Віришило, Т. Р. Гордієнко // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2010. – Вип. 49. – С. 24–28.
6. Кабашнюк В.А. Влияние микроклимата пещеры Золушка на гемодинамику и деятельность почек / В.А. Кабашнюк, К.И. Коробка, А. В. Бобылев // Пещеры. Методика изучения. Межвузовский сб. науч. трудов. – Пермь: Перм. ун-т., 1986. – (20). – С. 86–93.
7. Климчук А. Б. Карст и природные полости / А. Б. Климчук // в кн. Экологическая геология Украины / под ред. В. М. Шестопалова – Киев: Наук. думка, 2009.

8. Климчук А.Б. Методика изучения газового состава воздуха карстовых полостей / А. Б. Климчук, Н. Л. Яблокова // Пещеры. Методика изучения. Межвузовский сб. науч. трудов. – Пермь : Перм. ун-т., 1986. – (31). – С. 68–76.

9. Климчук А.Б. Сопряженный анализ истории формирования пещерной системы (на примере пещеры Атлантида) / А. Б. Климчук, В. Я. Рожников. – Киев : Препринт ИГН АН УССР, 1982. – 58 с.

10. Климчук А.Б. Формирование газового состава воздуха карстовых пещер Подолии и Буковины / А. Б. Климчук, Н. Л. Яблокова, С. П. Ольштынський // Докл. АН УССР. – 1984. – Б; № 2. – С. 19–22.

11. Прогнозування геодинамічних зон та перспективних площ на видобування шахтного метану вугільних родовищ / І. Д. Багрий, П. Ф. Гожик, В. І. Почтаренко та ін. – К. : Фоліант, 2011. – 236 с.

12. Biochemical mechanisms of resistance to p-nitrochlorobenzene of karst caves microorganisms / O. S. Suslova, P. V. Rokitko, K. M. Bondar et al. // The Ukrainian Biochemical Journal. – 2015. – V. 87, № 4. – P. 32–36.

13. Mackenzie F.T. Our changing planet / F.T. Mackenzie, J. A. Mackenzie. – Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall, 1995. – P 288–307.

References

1. Andreichouk, V., Teleshman, I., Kuprich, P. (2011). Spatially dynamic features of the distribution of CO₂ in the air of the cave Zolushka. *Speleology and Karstology*, 7, 15–25. [In Russian].

2. Andreichouk, V. N. (2007). Zolushka cave. Simferopol: Sosnovets, 407 p. [In Russian].

3. Bakhmutov, V.G., Lagutin, K.P. (1985). Experience of paleomagnetic study of cave deposits. *Phys. Geography and geomorphology*, 32, 46–50. [In Russian].

4. Biletsky, S.V., Gozhenko, A.I. (2007). Hypoxic-hypercapnic training in cardiology. Chernovtsy: Medical University. 148 p. [In Russian].

5. Bondar K.M., Virshylo I.V., Gordienko, T.P. (2010). Magnetostratigraphy and AMS of clay deposits from Atlantida karstic cave. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 49, 24–28. [In Ukrainian].

6. Kabashniuk, V.A., Korobka, K.I., Bobylev, A.V. (1986). The influence of the microclimate of Zolushka Cave on hemodynamics and the activity of the kidneys The caves. *Methodology of study. Interuniversity collection of scientific works. Permian: Perm University*, 20, 86–93. [In Russian].

7. Klimchouk, A.B. (2009). Karst and natural cavities. *Ecological geology of Ukraine. Kyiv: Naykova dumka*. [In Russian].

8. Klimchouk, A.B., Yablokova, N.L. Method for studying the air gas composition of karst cavities (1986). The caves. *Methodology of study. Interuniversity collection of scientific works. Permian: Perm University*, 31, 68–76. [In Russian].

9. Klimchouk, A.B., Rogozhnikov, V.Y. (1982). Conjugated analysis of the history of the formation of the cave system (on the example of the cave Atlantida). *Kiev: IGA AN USSR*, 58 p. [In Russian].

10. Klimchouk, A.B., Yablokova, N.L., Olshtynskiy, S.P. (1984). Formation of the air gas composition of the karst caves of Podolia and Bukovina. *Reports of AN USSR, B (2)*, 19–22. [In Russian].

11. Bagrij, I.D., Gozuk, P.F., Pochtarenko V.I., Aksjom, S.D., Dubosarskiy, V.R., Mamushev, I.Ye., Kizpat, A.M., Paliy, V.M. (2011). Forecasting of geodynamic zones and prospective areas for mining coal mine methane deposits. *Kyiv: Foliant*, 236 p. [In Russian].

12. Suslova, O.S., Rokitko, P.V., Bondar, K.M., Golubenko, O.O., Tashyrev O.B. (2015). Biochemical mechanisms of resistance to p-nitrochlorobenzene of karst caves microorganisms. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 87(4), 32–36.

13. Mackenzie, F.T., Mackenzi, J.A. (1995). Our changing planet. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 288-307.

Надійшла до редколегії 24.09.17

K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher

E-mail: ks_bondar@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

A. Sachko, Cand. Sci (Chem), Assoc. Prof.

E-mail: an.sachko@chnu.edu.ua

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Institute of biology, chemistry and bioresources

2 Kotsyubynsky Str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

M. Churubrov, Engineer

I. Mamyshev, Engineer

Institute of geological sciences, NAS of Ukraine

55-b O.Gonchara Str., Kyiv, 01054, Ukraine

NEW DATA ON GAS COMPOSITION OF THE AIR IN GYPSUM CAVES FROM PODILLYA AND BUKOVYNA

The paper presents new results of the study of the air gas composition (AGC) of the Podillya caves (Atlantida, Optymistychna, Mlynky) and Bukovina (Popelyushka) by the chromatographic method. The AGC comparison is made on the basis of air samples taken during the winter period.

The previously known features of AGC of caves are confirmed. In particular, it has been shown that cave air contains an increased amount of CO₂ comparing to atmospheric air. The highest concentrations of CO₂ were registered in Popelyushka (4.10 vol. %), and the lowest – in Optimistic cave (0.12 vol. %).

In addition, there is an oxygen depletion of cave air away from the sides of the gypsum block registered in the Optymistychna cave. Helium and hydrogen are also found in this cave in significant concentrations, which allows considering deep breakdowns within the cave field.

The long-term stability of the AGC of the Popelyushka cave is established and the absence of methane in the cave air is shown.

Changes in AGC of caves, associated with anthropogenic load, are detected. In particular, in the Atlantida cave, the air pollution with hydrocarbons is proved.

Keywords: air gas content, karstic cave, gypsum, Podillya-Bukovynakarsic region, Atlantida cave, Mlynky cave, Optymistychna cave, Popelyushka (Zolushka) cave.

K. Бондарь, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

A. Сачко, канд. хим. наук, доц.

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

Институт биологии, химии и биоресурсов, ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина

H. Чурубров, инж.

I. Мамишев, инж.

Институт геологических наук НАН Украины

ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГАЗОВОМ СОСТАВЕ ВОЗДУХА ГИПСОВЫХ ПЕЩЕР ПОДОЛЬЯ И БУКОВИНЫ

В работе приводятся новые результаты изучения газового состава воздуха (ГСП) пещер Подолья (Атлантида, Оптимистическая, Млынки) и Буковины (Золушка) хроматографическим методом. Сравнение ГСП выполнено на основании проб воздуха, отобранных в зимний период.

Подтверждены ранее известные особенности ГСП пещер. В частности показано, что воздух пещер содержит повышенное количество CO₂ по сравнению с атмосферным воздухом. Самые высокие концентрации CO₂ зафиксированы в Золушке (4,10 об.%), а самые низкие – в Оптимистической (0,12 об.%).

Кроме того, наблюдается обеднение кислородом воздуха отдаленных от бортов гипсового блока частей Оптимистической. В этой пещере также обнаружены гелий и водород в значительных концентрациях, что позволяет предполагать глубинные разломные нарушения в пределах пещерного поля.

Установлена долгосрочная стабильность ГСП пещеры Золушка и показано отсутствие метана в ее воздухе.

Выявлены изменения ГСП пещер, связанные с антропогенной нагрузкой. В частности, в пещере Атлантида отмечается загрязнение воздуха углеводородами.

Ключевые слова: газовый состав воздуха, карстовая пещера, гипс, Подольско-Буковинская карстовая область, Атлантида, Млынки, Оптимистическая, Золушка.

ГЕОЛОГИЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 550.83: 550.3: 553.495

А. Калашник, д-р геол. наук, ст. науч. сотруд., проф.
E-mail: kalashnik_anna1@ukr.net
Кировоградская летная академия Национального авиационного университета
ул. Добровольского, 5, г. Кропивницкий, 25001, Украина
А. Кузьмин, вед. геолог
E-mail: avkuzmin@ukr.net
Казенное предприятие "Кировгеология"
ул. М.Бойчука, 8/9, г.Киев, 01103, Украина

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ВОЛНОВАХСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ УЩ

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловым)

Целью проведенной работы является выявление новых закономерностей формирования месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых различной металлогенической специализации в Волновахской рудной зоне сочленения Приазовского мегаблока Украинского щита (УЩ) с Донбассом с учетом особенностей глубинного строения литосферы.

Выполнен анализ геофизической, геологической, петрологической, радиогеохимической информации по особенностям формирования, размещения основных типов месторождений и рудопроявлений в зоне сочленения Приазовского мегаблока Украинского щита с Донбассом в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы, астеносферы, разломной тектоники. Выявлены особенности глубинного строения литосферы и их физические параметры, которые влияли на условия металлогенического разнообразия и интенсивного рудообразования при формировании месторождений и рудопроявлений различной металлогенической специализации в Волновахской рудной зоне. Проанализирована металлогеническая специализация основных проявленных в районе исследований этапов тектонической активизации. Определены новые закономерности формирования месторождений и рудопроявлений различных полезных ископаемых в зоне сочленения Приазовского мегаблока УЩ и Донбасса, включая урановое оруденение. В частности, установлена их связь с очаговыми структурами многократно проявленного магматизма различного состава, гидротермальной деятельности, ореолами вторичных метасоматических изменений вмещающих пород в пределах глубинных разломов и узлов их пересечения над зоной резкого изменения мощности литосферы склона Украинского щита, и формирования бароградиентных зон в астеносфере в процессе эволюции Земли.

Практическое значение проведенного исследования состоит в повышении эффективности металлогенических прогнозов за счет расширения спектра используемых факторов формирования металлогенического разнообразия и интенсивности рудообразования, геофизических и петролого-геохимических индикаторов первичного масштабного концентрирования рудогенных компонентов различной металлогенической специализации в астеносфере. Это позволяет обоснованно определять перспективы территорий на возможность формирования крупных рудоконцентраций различной металлогенической специализации с выделением площадей наиболее вероятной их локализации.

Ключевые слова: литосфера, металлогеническое разнообразие, интенсивный рудоогенез, зона сочленения Приазовского мегаблока и Донбасса, Волновахская рудная зона.

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями. Приазовский мегаблок УЩ характеризуется оригинальной металлогенической зональностью с рудоконцентрациями обширного спектра и различного ранга, включая крупные месторождения различной металлогенической специализации. В целом он представляет редкометалльно-железорудную металлогеническую область. Ведущими металлами являются: железо, циркон, титан, молибден, алюминий, а из нерудных – графит и вермикулит. Кроме того, в Приазовье известны проявления акцессорной минерализации – Ta, Nb, W, Sn, Ni, Co, Pb, Cu, Li, Rb, Ce, Hg и Au.

Приазовский мегаблок УЩ является уникальным также по практически полному набору генетических типов уранового оруденения, однако выявленные в его пределах уранопроявления различного ранга немногочисленны. Большая часть из них (9 рудопроявлений и Николаевское непромышленное уран-ториевое месторождение) сосредоточены в Волновахской рудной зоне, расположенной в зоне сочленения Приазовского мегаблока УЩ с Донецким складчатым сооружением (ДСС) (рис. 1). Волновахская рудная зона отличается проявлением обширного спектра рудных и нерудных полезных ископаемых различного ранга. В ее пределах выявлены месторождения флюорита, урана, нефелиновых руд, фосфоритов; рудопроявления урана, тория, кобальта, меди, ниобатов, свинца, цинка, никеля, бериллия, титана, алюминия, молибдена, вольфрама, ванадия, олова, золота; проявления урана, тория, марганца, меди, свинца, цинка, никеля, титана, алюминия, молибдена, вольфрама, кобальта, ванадия, олова, бериллия, ниобия, лития, циркония, церия, золота.

Результаты исследований факторов металлогенического разнообразия и интенсивного рудоогенеза Волновахской рудной зоны сочленения Приазовского мегаблока УЩ и Донецкого складчатого сооружения с учетом глубинного строения литосферы могут в значительной степени дополнить информацию об условиях формирования уже выявленных месторождений полезных ископаемых этого региона, а также перспектив поиска новых.

Обзор публикаций и нерешенные части проблемы. Рассматривая мантию как основной источник рудогенных компонентов при формировании крупных рудных концентраций различной металлогенической специализации на верхних структурных этажах земной коры, нами выявлен ряд глубинных факторов формирования крупных месторождений урана [7], U-V-TR-Sc [8], Li и Ta-Li руд [6] на Украинском щите (УЩ), рассмотрены основные факторы металлогенического разнообразия и интенсивного рудоогенеза центральной части УЩ, закономерности формирования урановорудных метасоматитов в связи с глубинным строением литосферы Украинского щита [7]. Это позволяет обоснованно определять перспективы территорий на возможность формирования крупных рудоконцентраций урана, U-V-TR-Sc, Li и Ta-Li руд с выделением площадей наиболее вероятной их локализации.

В зоне сочленения Приазовского мегаблока УЩ и ДСС при изучении металлогенического разнообразия особый интерес представляет Волновахская рудная зона, пространственно связанная с Южнотонбасской минерогенической разломной зоной, где нами ранее была установлена и исследована пространственная, временная и геохимическая связь между формирова-

нием урановорудных объектов и проявлениями щелочно-ультраосновного магматизма [5]. По данным ГСЗ, Южнодонбасский разлом четко фиксируется в рельефе поверхности Мохо и на его мантийное проникновение указывает проявленность ультраосновного и щелочного магматизма [17].

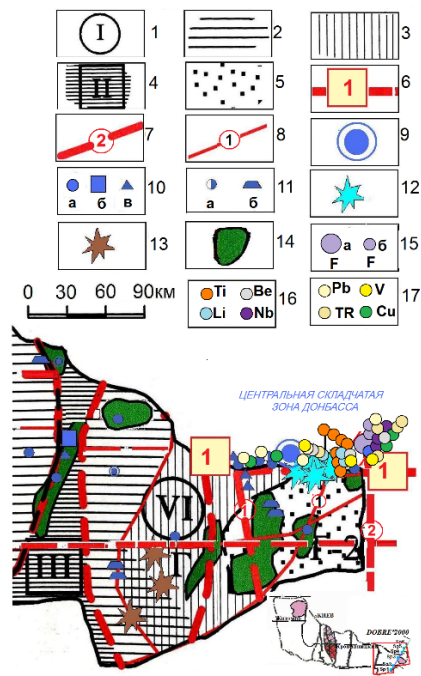


Рис. 1. Схема размещения месторождений и рудопроявлений рудных и нерудных полезных ископаемых в северо-восточной части Приазовского мегаблока УЩ и сопредельной территории:

- 1 – Приазовский мегаблок УЩ (IV); 2 – протоплатформенный массив мезоархейского заложения; 3 – Приазовский протоплатформенный массив палеопротерозойского заложения (Г); 4 – Орехово-Павлоградская шовная зона (III); 5 – мезопротерозойская фаза развития мантийных диапиров; Г-2 – Восточно-Приазовский плутон; 6 – осевая линия Южно-Донбасской широтной минерагенетической зоны (Волновахская рудная зона) с установленным пространственным и временным сопряжением кимберлитопоявлений и урановорудных объектов (1); 7 – осевые линии глубинных разломов I порядка: 1 – Криворожско-Павловский; 2 – Грузско-Еланчикский; 8 – осевые линии разломов II порядка: 1 – Кумачевский; 9 – Николаевское торий-урановое месторождение гидротермального типа в минерализованных зонах; 10-11 – рудопроявления урана: 10 а – гидротермального типа в минерализованных зонах; 10 б – осадочно-метаморфогенные в конгломератах и песчаниках кристаллического фундамента; 10 в – гидротермально-метасоматические в калиевых метасоматитах и пегматоидных гранитах; 11 а – гидротермальные уранбитумные в зонах дробления пород кристаллического фундамента, 11 б – магматические в интрузивных массивах щелочных сиенитов, лейкократовых гранитов и карбонатитов; 12 – кимберлитовые трубки, 13 – взрывные лампроитопоявления (трубки); 14 – потенциальные ториеворудные узлы; 15: а – Покрово-Киреевское месторождение флюорита, б – рудопроявления флюорита; 16–17 – рудопроявления различных металлических полезных ископаемых

В геологическом строении зоны сочленения Приазовского мегаблока и ДСС выделяются три структурных этажа. Нижний (докембрийский) структурный этаж представлен наиболее древними, существенно измененными в условиях метаморфизма и ультраметаморфизма породами неархейской и палеопротерозойской групп. Средний (герцинский) структурный этаж представлен палеозойскими осадочными, вулканогенно-осадо-

чными и интрузивными породами и верхний (альпийский) структурный этаж выполнен слабо литифицированными мезо-кайнозойскими осадочными отложениями платформенного чехла [3]. Зона сочленения Приазовского мегаблока с Донбассом характеризуется блоковой тектоникой с чередованием горст-грабеновых структур. Данная территория испытала несколько этапов активизации. Отмечается как минимум две фазы магматизма – девонская и пермь-триасовая с образованием штоков, штокоподобных тел основных, ультраосновных пород, туфобрекчий, лавобрекчий, гипабиссальных интрузий различного состава.

Заложение горсто-грабеновых структур зоны сочленения Приазовского мегаблока УЩ с Донбассом по данным работы [16] произошло в раннефранское время в связи с тектоническими движениями, интенсивно проявившимися после формирования осадочных пород николаевской свиты (средний девон). Формирование магматических пород андезит-трахиандезитового комплекса, слагающих дайки, штоки, лакколиты, лополиты и другие тела широко развитые в зоне сочленения Приазовского мегаблока и ДСС происходило, по мнению большинства исследователей региона [1, 2, 3, 16 и др.], в позднеорогенный этап развития Донецкого бассейна (в пфальскую фазу герцинского орогенеза, проявившуюся в Донбассе на границе перми и триаса). Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) и Донбасс на протяжении многих лет интенсивно исследуются геологическими и геофизическими методами. В последние годы интерес к глубинному строению литосферы данного региона особенно велик в связи с оценкой перспектив его нефтегазоносности, в частности с позиций абиогенного происхождения углеводородов. Однако при этом исследования касались, в первую очередь, сегментации консолидированной коры и сопоставления ее с разломной тектоникой и структурой осадочного чехла с целью выявления геолого-геофизических неоднородностей литосферы как показателей разных этапов формирования Днепровско-Донецкого палеорифта [1, 11] и его эволюции. С разломной тектоникой зоны сочленения Приазовского мегаблока и Донецкого бассейна также связаны многочисленные проявления металлических полезных ископаемых различной металлогенической специализации и широкий спектр месторождений нерудных полезных ископаемых (флюорит, барит, фосфориты и др.), что вероятнее всего также обусловлено специфическим глубинным строением и эволюцией литосферы региона.

На данном этапе исследований важной задачей является выявление закономерностей формирования и размещения месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых различной металлогенической специализации и обоснование факторов металлогенического разнообразия в Волновахской рудной зоне сочленения Приазовского мегаблока Украинского щита с Донбассом с учетом особенностей глубинного строения литосферы. Это может позволить существенно повысить эффективность геологоразведочных работ.

Изложение основного материала. Проанализируем специфику глубинного геологического строения Приазовского мегаблока УЩ и зоны его сочленения с Донбассом, а также особенности проявленного оруденения различной металлогенической специализации, в том числе уранового, по данным результатов, специализированных на уран-геологоразведочных работах.

По данным ГСЗ, мощность литосферы в пределах Приазовского мегаблока составляет 150–170 км [13] (рис. 2), земной коры – 35–47 км. В северной части Центральноприазовской зоны разломов наблюдается валообразное поднятие границы М северо-западного

направления. В северной части восточной половины мегаблока наблюдается ровообразное понижение границы М. Для Приазовского мегаблока УЩ характерна минимальная глубина залегания поверхности Мохо от 40 до 28 км (рис. 2) и наиболее поднятая нижняя граница земной коры для УЩ. По данным интерпретации ГСЗ, по профилю Приморск–Константиновка–Сватово в зоне сочленения Приазовского мегаблока и Донецкого складчатого сооружения (ДСС) [4] выделена глубинная мантийная интрузия. Геологическая граница между Приазовским мегаблоком и ДСС – Криворожско-Павловский разлом, проявляющийся по поверхности фундамента сбросом амплитудой 2 км (ПК 148). Яркой особенностью нижнего этажа зоны сочленения Приазовским мегаблоком и ДСС является упорядоченное скопление точек дифракции и отражающих площадок. Это позволило предположить [4], что его образование связано с внедрением мантийного вещества. Залегающий выше участок коры с пониженной скоростью 5,8 км/с, возможно, является продуктом выплавления магм из пород архейско-палеопротерозойской коры, сформировавшимся под воздействием тепловых процессов, сопровождавших мантийную интрузивную деятельность.

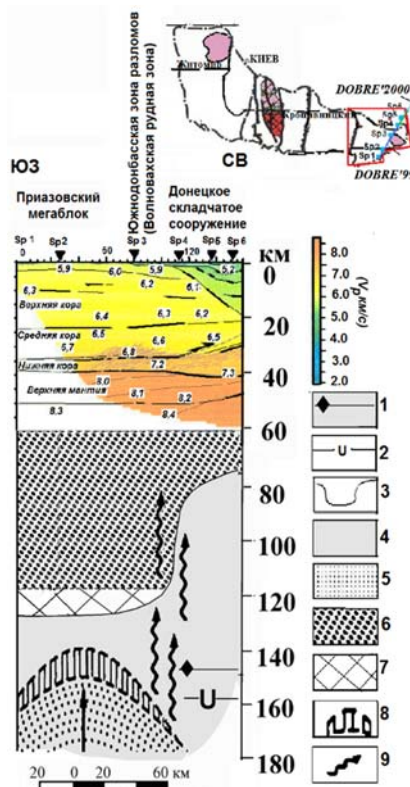


Рис. 2. Скоростная сейсмическая модель Р-волн коры и верхней мантии и петрологическая модель литосферы вдоль профилей DOBRE'99, DOBRE'2000 (по материалам [13,14,17]):

- 1 – граница стабильности графит-алмаз; 2 – уровень формирования очаговых потоков ураноносных транслитосферных флюидов; 3 – граница литосфера-астеносфера;
- 4 – астеносфера; 5 – железистые ультрабазиты (железистые дуниты), ильменит-флогопит-гранат-оливиновые породы;
- 6 – амфиболовые и пироксеновые глиммериты, шпинель-гранатовые, гранатовые лерцолиты;
- 7 – хромшпинелевые гарцбургит-лерцолитовая и дунит-перидотитовая серии с реликтами деформированных структур, гранатовые лерцолиты с реликтами деформированных астеносферной ловушки, сформированный вследствие импульсной дегазации ядра и мантии,
- 9 – астеносферные флюидопотоки

В зоне сочленения Приазовского мегаблока и Донбасса по модели коры и верхней мантии вдоль профилей DOBRE'99, DOBRE'2000 в разрезе по вертикали скорости с глубиной непрерывно увеличиваются [17]. В районе ПК 80-100, соответствующего положению Южно-Донбасской разломной зоны, вмещающей Волноваскую рудную зону, в основании средней коры появляются аномальные области дифракции, предположительно связываемые с формированием мафических и ультрамафических обособлений, развитые, главным образом в нижней коре и кровле верхней мантии скоростных разрезов в зоне сочленения Приазовского мегаблока и Донецкого складчатого сооружения.

В зоне сочленения Приазовского мегаблока и ДСС (Южно-Донбасская зона разломов) установлен ряд кимберлитовых трубок (Новоласпинская, Надия, Южная, Петровская), даек (Новоласпинская, Южная) и Горняцкое кимберлитопоявление (рис. 1). На проявленность глубинных мантийных процессов в пределах Южно-Донбасской зоны разломов указывают также флюидизатно-эксплозивные образования Староласпинского и Горняцкого участков. Возраст кимберлитов Восточного Приазовья, полученный Rb-Sr изохронным методом по макрокристам неизмененного флогопита, для трубки Новоласпинская 380–391 млн лет, для отдельных флогопитов 465 млн лет, для трубки Южная 383–389 млн лет, для отдельных флогопитов 423 млн лет [15]. По данным [15], в кимберлитах трубки Южная имеются мегакристы флогопита возраста 598 ± 6 млн лет (определен K-Ar методом в ИГМР НАН Украины). Это позволило [15] сделать вывод, что протокимберлитовый расплав в северо-восточной части Приазовского мегаблока начал формироваться не в девоне, а значительно раньше. В кимберлитах указанных трубок пиропы являются продуктами дезинтеграции разноглубинных и разных по составу перидотитов графит-пироповой фации глубинности. Пиропы гарцбургитового парагенезиса алмаз-пироповой фации глубинности встречаются крайне редко [12]. Хромшпинелиды указанных кимберлитовых трубок относятся к образованиям преимущественно лерцолитового состава, с формированием в диапазоне давлений 30–32 кбар, т.е. в условиях графит-пироповой фации глубинности (125–130 км) [12]. Единичные находки пиропов и хромшпинелидов алмазной ассоциации, мелких алмазов позволяют предполагать лишь мелкие локальные очаги генерации кимберлитовых магм на границе алмаз- и графит-пироповой фаций глубинности (~250 км). В Южно-Донбасской разломной зоне магматизм также представлен среднедевонскими интрузиями перидотитов, пироксенитов, эффузиями щелочных базальтоидов и верхнедевонскими субвулканическими телами щелочных пород (нефелиновые сиениты, маляниты, феолизиты и др.). Это свидетельствует о наличии в зоне сочленения Приазовского мегаблока УЩ и ДСС химической вертикальной неоднородности, которая возникла, видимо, вследствие интенсивного плавления мантии и последующего разновозрастного подъема скоплений легкоплавких компонентов в процессе длительного активного геологического развития. Литосфера этой части склона УЩ характеризуется уменьшением мощности в пограничной зоне Приазовского литосферного сегмента и формированием латеральных бароградиентных зон в астеносфере. Это обеспечивало условия для изменения составов мантийных флюидов, а также инверсию форм переноса рудогенных компонентов к верхним горизонтам земной коры по разломам транслитосферного проникновения. Воздействия мантийных флюидов на породы земной коры и верхней мантии фиксировались в виде магматических явлений, процессов гранитизации, метаморфизма, метасомати-

ческих изменений, выполнения минеральными агрегатами определенной металлогенической специализации трещин и тектонических зон, структур.

Многочисленные тектонические активизации, проявленные в Приазовском мегаблоке УЩ и зоне его сочленения с Донбассом, приводили к фрагментарному разрушению сформированных ранее структур, открывая пути к проникновению мантийного материала, инициировали проявления соответствующего магматизма, флюидизационно-эксплозивной деятельности и рудогенеза, что способствовало проявлению металлогенического многообразия рудоконцентраций. Однако эти процессы нельзя отрывать от общего геологического развития Приазовского мегаблока в целом.

В восточной части Приазовского мегаблока выделяется Приазовская мегаструктура, охватывающая одноименный мантийный диапир (рис. 1). На поверхности фундамента он выражен образованиями хлебодаровского и более поздних южно-кальчикского, октябрьского и каменномогильского комплексов. Образования этих комплексов формируют единый плутон длительного образования на площади от р. Каратыш (на западе) до р. Грузской Еланчик (на востоке) (рис. 1). В состав плутона входит группа массивов хлебодаровского комплекса (Кальмиусский, Еланчикский, Талаковский, Греко-Александровский, Хлебодаровский, Дубовский) обеих субформаций габбро-сиенитовой формации (Володарский, Октябрьский), малые интрузии субщелочных редкометальных гранитов каменномогильского комплекса (Каменномогильский, Екатериновский, Стародубовский). Все эти массивы рассматриваются как эродированные части единого плутона. Этот плутон расположен непосредственно над мантийным диапиром. В пределах плутона также установлен ряд проявлений, которые могут быть отнесены к ультраосновной с карбонатитами формации и связанных с ней фенитов (Петрово-Гнутовское, Хлебодаровское, Дмитровское).

Массивы хлебодаровского комплекса сформированы в эпоху 2030 млн лет [9]. Породы хлебодаровского комплекса специализированы на Sc, Mo, Sn, TR. Среди пород хлебодаровского комплекса залегает жилородная Петрово-Гнутовская залежь с признаками принадлежности к поздним карбонатитам, вмещающая редкоземельное с торием оруденение. Щелочные образования южно-кальчикского комплекса сформировались в эпоху 1810–1790 млн лет и образуют Володарский интрузивный массив. Октябрьский и Малотерсянский массивы сформированы в основном в период 1800–1700 млн лет [9]. Однако породы этих двух массивов сохранили следы и более древних (2050 млн лет) [9] образований вероятно щелочной ультраосновной формации, о чем, в частности, свидетельствуют карбонатные породы в пределах массивов и часть определений изотопного возраста. Образования южно-кальчикского комплекса имеют Zr-TR-Y геохимическую специализацию, а Октябрьского и Малотерсянского массивов – имеют Ni-Co-Cr-Ti-Nb-TR специализацию. Субщелочные редкометальные граниты каменномогильского комплекса имеют Li-Be-Sn-W-Mo геохимическую специализацию. Габбро-сиенитовая формация и ее коры выветривания – важный источник циркона и редкоземельных элементов. В западной части Володарского интрузивного массива габбро-сиенитов выявлено крупное Азовское месторождение фтор-редкометально-редкоземельной с торием рудной формации. Рудная минерализация располагается в штоках щелочнополевошпатовых сиенитов. Состав руд – циркон-бриолитовый (бастнезитовый). Октябрьский массив вмещает Мазуровское месторождение ниобий-тантал-циркониевых руд.

К зоне Криворожско-Павловского разлома на восток от Октябрьского массива приурочено Анадольское месторождение, представленное кварц-флюоритовыми жилами с ортитом, бритолином и фтор-карбонатом. Здесь предполагается шток пород октябрьского комплекса, с которым связано развитие фенитов. Оруденения Азовского, Мазуровского, Анадольского, Новополтавского месторождений связывают с мантийными флюидами, которые привносили щелочи, редкоземельные и радиоактивные элементы, обогащая ими первичный расплав после главной фазы кристаллизации [2].

На проявленность в пределах Приазовского мегаблока мантийных процессов, кроме щелочных и субщелочных породных комплексов, также указывают установленные штоки и дайки лампроитов (трубки Мрия, Конка и др.) возраста 1970–1950 млн лет (по флогопиту K-Ar метод) [15], серия малых интрузий кимберлит-лампроитового ряда колларовского комплекса возраста 1900–1760 млн лет [12], Мариупольское поле лампрофиров. В бассейне р. Лозоватка были выявлены высокомагнезиальные слюдяные ультрабазиты лампроитовой серии (1970–1950 млн лет) [12], залегающие в виде маломощных даек.

Многофазный Покрово-Киреевский массив, приуроченный к Южно-Донбасскому разлому, имеет черты как щелочной ультраосновной формации (390–326 млн лет [9]) так и габбро-сиенитовой формации калиевого ряда (290–165 млн лет [9]). Среди пород массива выявлены габбро-пироксениты, перидотиты, малиниты, нефелиновые сиениты, щелочные базальты, лимбургиты, авгититы, трахиты, а также кимберлитоподобные покрывы нескольких этапов внедрения и эруптивные брекчии [12].

В зоне сочленения УЩ с Донбассом развиты вулканогенно-осадочные образования франского яруса верхнего девона, среди которых выделяется антон-тарамская свита (D_{2-3at}), выполненная, преимущественно, эффузивно-вулканокластическими породами основного состава (базальтами, пикрито-базальтами, андезито-базальтами и их туфами). Широкий распространением в зоне сочленения Приазовского мегаблока с Донбассом характеризуются породы андезит-трахиандезитового палеозой-мезозойского магматического комплекса (P_{2-T1}) – дайки и штокоподобные тела андезитовых порфиритов, андезито-базальтов, андезито-дацитовых порфиритов, трахиандезитов, кварцевых порфиритов.

Таким образом, в пределах Приазовского мегаблока УЩ и зоне его сочленения с ДСС отмечается несколько этапов тектонических активизаций, в том числе связанных с заложением и развитием Восточно-Приазовского мантийного диапира. С первым этапом связано формирование образований хлебодаровского, анадольского, салтычанского, черниговского, а также первой фазы октябрьского и малотерсянского комплексов. Второй этап развития диапира проявился в появлении образований южно-кальчикского, каменномогильского и второй фазы октябрьского и малотерсянского комплексов. Герцинский этап активизации привел к формированию покрово-киреевского комплекса, а также штокоподобных интрузивных и эксплозивных образований габбро-сиенитовой формации в южной части Приазовского мегаблока. Покрово-Киреевский комплекс является многофазным, имеет очень своеобразный состав. Его появление, скорее всего, связано с дальнейшим развитием Восточно-Приазовского мантийного диапира. Металлогению этого региона нельзя отрывать от общего рассмотрения многоэтапного развития щелочного магматизма.

Очень важным критерием прогнозирования рудных месторождений являются области распространения метасоматически измененных пород. Отметим, что в целом Приазовский мегаблок отличается широким развитием таких высокотемпературных формаций метасома-

титов как фениты, карбонатиты, магнезиальные метасоматиты, а среди низкотемпературных формаций преобладают флюорит-карбонатные метасоматиты и проявление халцедоновой минерализации, а также сульфидов меди, свинца, серебра и кобальта, не отмечаются эйситы. Ореолы метасоматических формаций контролируются главным образом тектоническими зонами и узлами их пересечений. Волновхская рудная зона широкого простирания трассируется цепочкой ореолов распространения различных метасоматических формаций. Наиболее значительный из них имеет размеры 20х12 км и содержит высоко-, средне- и низкотемпературные формации, контуры которых размещены телескопически и совпадают друг с другом. Высокотемпературные формации представлены скарнами, альбитизированными гранитами, грейзенами, среднетемпературные – пропилитами, а низкотемпературный контур представлен гумбеитовой формацией. Дополняет характеристику ореола проявление сульфидной минерализации меди, свинца, кобальта и серебра.

Структурный план зоны сочленения Приазовского мегаблока и ДСС очень сложный, ее секут множество разломов корового и мантийного проникновения. Здесь выделяются глубинные разломы широтного, меридионального, северо-западного, северо-восточного простирания, образующие мозаичную горсто-грабенную систему. В большинстве случаев рудные полезные ископаемые пространственно приурочены к разломам различных порядков, а также к узлам их пересечений и генетически связаны с гидротермальной деятельностью, с широко проявленным магматизмом различного возраста, с вторичными метасоматическими изменениями вмещающих пород. Выявлен также широкий спектр нерудных полезных ископаемых (флюорит, барит, фосфориты и др.).

Две наиболее интенсивно проявленные в зоне сочленения Приазовского мегаблока и ДСС фазы магматизма – девонская и пермь-триасовая, сопровождались образованием штоков и штокоподобных тел основных и ультраосновных пород, мелких габбиссальных интрузий кератофилов, ортофилов, лавобрекчий и т.п. С магматической активизацией именно этих периодов связаны также интенсивные процессы метасоматоза, выраженные карбонатизацией, окварцеванием, хлоритизацией, флюоритизацией вмещающих пород с образованием рудной минерализации широкого спектра (уран, торий, пирит, халькопирит, редкие металлы, редкоземельные элементы и т.д.).

Выявленные уранопроявления в Приазовском мегаблоке УЩ являются малочисленными, относятся к различным генетическим типам. Основная их часть сосредоточена в пределах Волновхской рудной зоны (рис. 1). По минеральным ассоциациям и по содержанию U, Th в Волновхской рудной зоне выделяется три типа руд – уран-ториевые (Николаевское месторождение), урановые (балка Большая Барсукова, балка Мандрыкина, Стыльское, Войковское и др.) и комплексные (руды Покрово-Киреевского (Еланчикского) уран-ториевого рудопроявления включают процентные содержания бериллия и ниобия).

Уран-ториевое оруденение Николаевского месторождения локализовано в базальном слое николаевской свиты. Оно образует прерывистую полосу залежей северо-западного простирания, прослеженную на несколько километров. Базальный слой слагают континентальные и прибрежно-морские гравелито-песчаники мощностью до 30 м. В отложениях базального слоя выделяют два сближенных по вертикали горизонта ураноносных гравелито-песчаников. Отмечается зональность в распределении урана в зависимости от литофациальных особенностей. Рудные тела имеют пластообразную форму, в разрезе переходят от одного литологического типа

пород в другой, захватывая и кору выветривания докембрийских пород. Урановая минерализация представлена настураном и в меньшей мере урановыми чернями, а также сорбцией на окислах и гидроокислах железа, марганца, гидрослюда, монтмориллоните и углистом веществе. Ториевые минералы представлены ураноторитом, ферриторитом и монацитом. Породы, вмещающие оруденение, катаклазированы, измельчены, брекчированы, милонитизированы, изменены наложенными процессами окварцевания, карбонатизации, хлоритизации, серицитизации, аргиллитизации, баритизации, гематитизации, альбитизации и пиритизации. Урановое оруденение относится к гидротермальному типу в минерализованных зонах дробления терригенных и карбонатных толщ.

Возраст уранового оруденения Николаевского месторождения составляет 340 ± 60 млн лет (по величине $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$) и соответствует времени внедрения кимберлитовых трубок и субвулканических щелочных пород Покрово-Киреевского комплекса.

Покрово-Киреевское месторождение флюорита приурочено к узлу пересечения меридионального Грузско-Еланчикского и широтного Южно-Донбасского разлома. Гидротермально-метасоматические образования плавикового шпата представляют собой линзу, приуроченную к известнякам турнейского яруса нижнего карбона. По минералогическим особенностям руды Покрово-Киреевского месторождения делятся на три типа: карбонатно-флюоритовые, карбонатно-полевошпат-флюоритовые, экзогенный элливиально-пролювиальный тип руд. Первые два типа руд являются основными на данном месторождении и составляют 95 % всех запасов и 5 % запасов обусловлены экзогенным элливиально-пролювиальным типом руд. Рудопроявления флюорита вскрыты в известняках турнейского яруса нижнего карбона в зонах влияния Кальмиус-Еланчикской зоны разломов, узла пересечения Южно-Донбасского и Грузско-Еланчикского, Кумачовского разломов.

В девонском магматическом комплексе в районе Покрово-Киреевской структуры выявлено Покрово-Киреевское месторождение нефелиновых руд, отнесенное к промышленному.

В Волновхской рудной зоне выявлены рудопроявления меди преимущественно гидротермального генезиса. По минералогическому составу выделяются следующие типы оруденения: медно-колчеданный, скарновый, кварц-халькопиритовый, самородный в базальтовых порфирирах и терригенных отложениях верхнего девона.

В южной части Кальмиус-Еланчикской зоны разломов в пироксенитах верхнего девона и в коре выветривания пироксенитов выявлено 15 рудопроявлений и многочисленные проявления титана, ряд рудопроявлений и проявлений ванадия.

В центральной и южной частях Кальмиус-Еланчикской зоны разломов в ортоклазитах верхнего девона, а также в зонах контакта нефелиновых сиенитов, фонолитов с пикритовыми базальтами, ортофирами выявлены многочисленные рудопроявления бериллия. С бериллиевой минерализацией также связаны повышенные концентрации ниобия, приуроченные к зонам калиевого метасоматоза.

Таким образом, девонская и пермь-триасовая фазы тектонических активизаций, широко проявленные в зоне сочленения Приазовского мегаблока УЩ с ДСС сопровождались интенсивным магматизмом с образованием штоков, даек, штокообразных тел основного, ультраосновного, щелочно-базальтоидного составов, покровов туфобрекчий, палеобазальтов. Они также обеспечивали интенсивные процессы метасоматоза, выразившиеся в образовании разнообразных метасоматитов: от высокотемпературных скарнов до низкотемпературных аргиллитов, с которыми связана рудная минерализация различной специализации – полиметаллы, флюорит,

редкие земли, радиоактивные элементы и др. Основная масса оруденения верхних горизонтов земной коры в Волновахской рудной зоне связана с многоэтапным формированием рудной минерализации в очаговых структурах, представленных интрузивно-магматическими образованиями и комплексами, сформированными в местах подъема транслитосферных флюидных потоков над зонами первичного эффективного концентрирования рудных компонентов на мантийном уровне. Они контролируются зонами долгоживущих разломов транслитосферного проникновения и узлами их пересечения. Волновахская рудная зона трассируется цепочкой ореолов распространения различных метасоматических формаций, контуры которых размещены телескопически и совпадают друг с другом. Все это способствовало формированию в ее пределах металлогенического многообразия рудоконцентраций различного ранга, включая месторождения и рудопроявления.

Выводы и направление дальнейших исследований. Металлогенический облик Волновахской рудной зоны сочленения литосферного сегмента Приазовского мегаблока УЩ и Донецкой складчатой структуры определяется в первую очередь особенностями глубинного строения литосферы в этой части склона Украинского щита, в частности резким изменением ее мощности и формированием бароградиентных зон в астеносфере в процессе эволюции Земли. Это привело к формированию в этой пограничной части Приазовского литосферного сегмента различных РТ-условий в астеносфере, обеспечивавших изменения составов мантийных флюидов и инверсию форм переноса рудогенных компонентов к верхним горизонтам земной коры по разломам транслитосферного проникновения. Исходя из связи мощности литосферы и металлогенической специализации (по [10]) в зоне сочленения Приазовского мегаблока и ДСС отсутствуют условия для формирования крупных рудоконцентраций урана, однако имеются предпосылки для формирования значительных концентраций титана, меди, ванадия, бериллия, олова, марганца, TR, ниобия и масштабных скоплений флюоритовых руд.

Немаловажным фактором металлогенического разнообразия и интенсивного рудогенеза Волновахской рудной зоны является локальная очаговая транслитосферная проницаемость контролирующей ее широтной Южнодонбасской зоны разломов и узлов ее пересечения с разломами других простираний (Грузско-Еланчикским, Кумачевским, Криворожско-Павловским и др.), обеспечившая периодический вынос геохимически специализированных разнородных флюидов. В большинстве случаев рудные полезные ископаемые района генетически связаны с очаговыми структурами многократно проявленного магматизма различного состава, гидротермальной деятельности, ореолами вторичных метасоматических изменений вмещающих пород в пределах указанных разломов и узлов их пересечения.

В ходе дальнейших исследований необходимо оценить перспективы обнаружения новых рудных объектов различной металлогенической специализации в пределах Волновахской рудной зоны. Волновахская рудная зона является первоочередным районом поиска новых месторождений флюорита, титана, полиметаллов, меди.

Список использованных источников

1. Геодинамическая интерпретация геолого-геофизической неоднородности литосферы Днепровско-Донецкой впадины / В. И. Старостенко, И. К. Пашкевич, И. Б. Макаренко и др. // Доп. НАН України. – 2017. – № 9. – С. 84–94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084>
2. Геолого-геофизические критерии рудоносности и металлогения областей субдукции Украинского щита / Е. М. Шермет, С. Н. Кулик, С. Г. Кривдик и др.; под ред А. В. Анциферова УкрНИМИ. – Донецк : Науки, 2011. – 285 с.
3. Донской Н.А. Петрохимические и геохимические особенности палеозойского магматического комплекса зоны сочленения Донбасса с приазовской частью Украинского щита / Н. А. Донской, Н. С. Компанец / Тез.

докл. 23 Междунар. научн.-практ. конф. "Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород", Миасс, 18–23 сентября 2006 г., ГЕОХИ РАН. – М. : ГЕОХИ РАН, 2006. – С. 47–48.

4. Ильченко Т.В. Сейсмическая модель земной коры по профилю ГСЗ Приазовский массив – Донбасс-Воронежский массив / Т. В. Ильченко // Геофиз. журн. – 1992. – Т. 14, № 5. – С. 50–59.

5. Калашник А.А. Геолого-структурные особенности пространственного размещения урановорудных объектов и кимберлитопоявлений в Южнодонбасской минерагенической зоне / А. А. Калашник // Геохімія і рудоутворення – 2011. – Вып. 29 – С. 106–119.

6. Калашник А.А. Глубинные факторы формирования крупных промышленных месторождений лития в редкометальных пегматитах Шполянско-Ташлыкского рудного района УЩ. Статья 1. Основные физико-химические свойства элементов парагенезиса руд в редкометальных пегматитах Шполянско-Ташлыкского рудного района и геохимическая характеристика метасоматитов / А. А. Калашник // Мінеральні ресурси України. – 2015. – № 2. – С. 12–21.

7. Калашник А.А. Закономерности формирования урановорудных метасоматитов в связи с особенностями глубинного строения литосферы Украинского щита / А. А. Калашник // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2016. – Т. 74, № 3. – С. 51–57.

8. Калашник А.А. Новые возможности технологии прогноза и поиска промышленных уран-полиметалльных месторождений на базе концепции первичного астеносферного концентрирования рудных компонентов / А.А. Калашник // 36. наукових праць УкрДГПІ. – 2014. – № 3-4. – С. 114–137.

9. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита / К. Ю. Єсипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк та ін. – К. : УкрДГПІ, 2004. – 30 с.

10. Летников Ф.А. Зрелость литосферных блоков и проблемы эндогенного рудообразования / Ф. А. Летников // Глубинные условия эндогенного рудообразования. – М. : Наука. – 1986. – С. 16–24.

11. Пашкевич И.К. Магнитная неоднородность, разломная тектоника консолидированной земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена / И. К. Пашкевич, М. И. Орлюк, Т. В. Лебедь // Геофиз. журн. – 2014. – Т. 36, № 1. – С. 12–21.

12. Перспективы коренной алмазности Украины / Ю. В. Гейко, Д. С. Гурский, Л. И., Лыков и др. – Киев; Львов : Центр Европы, 2006. – 200 с.

13. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб – К. : Наук. думка. – 1986. – 184 с.

14. Федоришин Ю.І. Просторова модель глибинної будови літосфери Українського щита у зв'язку з перспективами промислової алмазності / Ю. І. Федоришин, О. В. Фесенко, О. Б. Денег // Мінеральні ресурси України. – 2006. – № 3. – С. 8–12.

15. Цымбал С.Н. Возраст кимберлитов Приазовского геоблока Украинского щита (по геологическим и изотопным данным) / С. Н. Цымбал, А. О. Кременецкий, С. Н. Стрекозов // Материалы конф. "Щелочной магматизм Земли и его рудоносность", Донецк, 2007. – С. 245–248.

16. Шаталов Н.Н. Структурно-геологические условия локализации штоков и даек андезит-трахиандезитового комплекса зоны сочленения Донбасса и Приазовья / Н. Н. Шаталов // Мінеральні ресурси України. – 2013. – № 4. – С. 27–31.

17. Lyngsie S. Rifting and lower crustal reflectivity: A case study of the intra-cratonic Dniepr-Donets rift zone, Ukraine / S. Lyngsie, H. Thubо, R. Lang // Submitted to Journal of Geophysical Research. – 2002. – P. 1–26. <https://doi.org/10.1029/2006JB004795>

References

1. Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., Makarenko, I.B., Kuprienko, P.Ya, Savchenko, O.S. (2017). Geodynamical interpretation of the geological and geophysical heterogeneity of the Dnieper-Donets basin lithosphere. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, 9, 84–94. [in Russian]. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084>
2. Shermet, E.M., Kulik, S.N., Krivdik, S.G., Pigulevskiy, P.I., Burahovich, T.K., Zagnitko, V.N., Borodinya, B.V., Strekozov, S.N., Nikolaev, Yu.I., Setaya, L.D., Agarkova, N.G., Antsiferov, V.A. (2011). Geological and geophysical criteria of ore content and metallogeny of the subduction areas of the Ukrainian Shield. *Donetsk: "Nouildzh" Publ.*, 285. [in Russian].
3. Donskoy, N.A. (2006). Petrochemical and geochemical features of the Paleozoic magmatic complex of the Donbas junction zone with the Azov part of the Ukrainian Shield. Abstract book 23 Int. Scientific-practical Conf "Geochemistry, petrology, mineralogy and genesis of alkaline rocks", Miass, 2006, September 18–23. *GEOKHI RAS. Moscow, GEOKHI RAS Publ.*, 47–48. [in Russian].
4. Ilchenko, T.V. (1992). Seismic model of the earth's crust along the DSS profile Priazovsky Massif-Donbass-Voronezhsky Massif. *Geophysical Journal*, 5, 14, 50–59. [in Russian].
5. Kalashnik, A.A. (2011). Geological-structural features of the spatial placing of uranium ore objects and kimberlite magmatism in the South-Donbas mineragenic zone. *Heokhimiya i rudoutvorenniya*, 29, 106–119. [in Russian].
6. Kalashnik, A.A. (2015). Deep factors of formation of major lithium industrial deposits in rare-metal pegmatites of Shpolyano-Tashlytsky ore district of the Ukrainian Shield. Article 2. Deep factors of formation of spatial proximity major industrial uranium and lithium deposits in the Ingulsky megablock. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 12–21. [in Russian].
7. Kalashnyk, G. (2016). Patterns of uranium ore metasomatites localization in association with features of the Ukrainian Shield lithosphere's deep structure. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 74, 3, 51–57. [in Russian].
8. Kalashnik, A.A. (2014). New possibilities of the technology of prognosis and search of uranium-polymetal industrial deposits based on the concept of

initial concentration ore components in asthenosphere. Scientific proceedings of UkrSGRI, 3-4, 114-137. [in Russian].

9. Esipchuk, K.Yu., Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M. (2004). Correlation Chronostratigraphic Scheme of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Kyiv: UkrDHRI Publ., 30. [in Ukrainian].

10. Letnikov, F.A. (1986). Maturity of lithospheric blocks and problems of endogenous mineralization. Glubinnye usloviya endogenno rudoobrazovaniya. Moscow: "Nauka" Publ., 16-24. [in Russian].

11. Pashkevich, I.K., Orlyuk, M.I., Lebed, T.V. (2014). Magnetic data, fault tectonics of consolidated Earth crust and oil- and gas content of the Dnieper-Donets avlakogen. Geophysical journal, 36, 1, 12-21. (in Russian)

12. Geiko, Y.V., Gursky, D.S., Metalidi, V. S., Pavlyuk, V.N., Prykhodko, V.L., Tsybmal, S.N., Shymkiv, L.M. (2006). Perspectives of basement diamond productivity of Ukraine. Kyiv: "Tsentr Evropy" Publ., 200. [in Russian].

13. Sollogub, V.B. (1986). Lithosphere of the Ukraine. Kiev: "Naukova dumka" Publ., 184. [in Russian].

14. Fedoryshin, Ju.I., Fesenko, O.V., Denega, O.B. (2006). The spatial model of the deep structure of the lithosphere of the Ukrainian shield at the prospect of industrial diamond. Mineral Resources of Ukraine, 3, 8-12. (in Ukrainian)

15. Tsybmal, S.N., Kremenetsky, A.O., Strekozov, S.N. (2007). Age of kimberlites of the Priazovsky Geoblock of the Ukrainian Shield (based on geological and isotopic data). Abstract book Conf. "Alkaline magmatism of the Earth and its ore-bearing". Donetsk: "Noulidzh" Publ., 245-248. [in Russian].

16. Shatalov, N.N. (2013). Structural-geological conditions for the localization of stocks and dikes of the andesite-trachyandesite complex of the joint zone of Donbas and Priazovye. Mineral Resources of Ukraine, 4, 27-31. [in Russian].

17. Lyngsie, S., Thubø, H., Lang, R. (2002). Rifting and lower crustal reflectivity: A case study of the intra-cratonic Dniepr-Donets rift zone, Ukraine. Submitted to Journal of Geophysical Research, 112, 1-26. <https://doi.org/10.1029/2006JB004795>

Надійшла до редколегії 15.12.17

G. Kalashnyk, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, Prof.
E-mail: kalashnik_anna1@ukr.net
Kirovograd Flight Academy of National Aviation University
1 Dobrovolskogo Str., Kropyvnytskyi, 25005, Ukraine
A. Kuzmin, Senior Geologist
E-mail: avkuzmin@ukr.net
State enterprise "Kirovgeology",
8/9 M. Boychuk Str., Kyiv, 01103, Ukraine

METALOGIC DIVERSITY OF THE VOLNOVAHSKAYA ORE AREA IN CONNECTION WITH FEATURES OF UKRAINIAN SHIELD LITHOSPHERE'S DEEP STRUCTURE

The objective of the study is to identify new patterns of formation deposits and ore occurrences of different metallogenic specialization in the Volnovahskaya ore zone of junction of the Priazovsky megablock of Ukrainian Shield with the Donbas in connection with the nature of the deep structure of lithosphere.

The analysis of geophysical, geological, petrological and radiogeochemical information on the specifics of the formation, placement of the main types of deposits and ore occurrences at the junction of the Priazovsky megablock of the Ukrainian Shield with the Donbas in close connection with the features of the deep structure of the lithosphere, asthenosphere and fault tectonics was carried out. The features of the deep structure of the lithosphere and their physical parameters that affect the conditions of metallogenic diversity and intensive ore genesis in the formation of deposits and ore occurrences of various metallogenic specializations in the Volnovahskaya ore zone were revealed. The analysis of metallogenic specialization of the main manifested area of research stages of tectonic activation was carried out. We have obtained new patterns in the formation of different deposits and ore occurrences in junction zone of the Priazovsky megablock of the Ukrainian Shield and the Donbas, including uranium ore occurrences. In particular, their connection with the focal structures of repeated magmatism of various composition, hydrothermal activity, halos of secondary metasomatic changes of host rocks within the deep faults and their crossing points over the zone of abrupt change in thickness of the lithosphere of the slope of the Ukrainian Shield, and the formation of barogradient zones in the asthenosphere in the process of the Earth's evolution.

The practical significance of this research is to increase the efficiency of metallogenic forecasts by expanding the range of metallogenic diversity and intensity of ore genesis, geophysical and petro-geochemical indicators of primary scale concentration of ore components of different metallogenic specialization in the asthenosphere. This makes it possible to reasonably determine the prospects of the territories for the possibility of forming large ore concentrations of different metallogenic specialization with the allocation of areas of their most probable localization.

Keywords: lithosphere, metallogenic diversity, intensive ore genesis, the junction zone of the Priazovsky megablock and the Donbas, Volnovahskaya ore zone.

Г. Калашник, д-р геол. наук, ст. наук. співроб., проф.
E-mail: kalashnik_anna1@ukr.net
Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету
вул. Добровольського, 1, м. Кропивницький, 25005, Україна
А. Кузьмін, пров. геолог
E-mail: avkuzmin@ukr.net
Казенне підприємство "Кіровгеологія",
вул. М.Бойчука, 8/9, м.Київ, 01103, Україна

МЕТАЛОГЕНІЧНА РІЗНОМАНІТНІСТЬ ВОЛНОВАСЬКОЇ РУДНОЇ ЗОНИ У ЗВ'ЯЗКУ З ОСОБЛИВОСТЯМИ ГЛИБИННОЇ БУДОВИ ЛІТОСФЕРИ УЩ

Метою проведеної роботи є виявлення нових закономірностей формування родовищ та рудопроявів корисних копалин різної металогенічної спеціалізації у Волноваській рудній зоні зчленування Приазовського мегаблоку Українського щита (УЩ) з Донбасом у зв'язку з особливостями глибинної будови літосфери.

Виконано аналіз геофізичної, геологічної, петрологічної, радіогеохімічної інформації по особливостях формування, розміщення основних типів родовищ і рудопроявів у зоні зчленування Приазовського мегаблоку Українського щита з Донбасом, у тісному зв'язку з особливостями глибинної будови літосфери, астеносфери, розламною тектонікою. Виявлено особливості глибинної будови літосфери та їх фізичні параметри, які впливали на умови металогенічної різноманітності і інтенсивного рудогенезу при формуванні родовищ і рудопроявів різної металогенічної спеціалізації у Волноваській рудній зоні. Проаналізована металогенічна спеціалізація основних проявлених у районі досліджень етапів тектонічної активізації. Визначено нові закономірності формування родовищ і рудопроявів різних корисних копалин у Волноваській рудній зоні, в тому числі об'єктів уранового зруденіння, зокрема встановлено їх зв'язок з осередковими структурами багаторазово проявленого магатизму різного складу, гідротермальної діяльності, ореолами вторинних метасоматичних змін вміщуючих порід у межах глибинних розламів та вузлів їх перетину над зоною різкої зміни потужності літосфери схилу Українського щита та формування бароградієнтних зон в астеносфері у процесі еволюції Землі.

Практичне значення проведеного дослідження полягає в підвищенні ефективності металогенічних прогнозів за рахунок розширення спектру чинників формування металогенічної різноманітності і інтенсивності рудогенезу, геофізичних і петролого-геохімічних індикаторів первинної масштабної концентрації рудогенних компонентів різної металогенічної спеціалізації в астеносфері. Це дозволяє обґрунтовано визначати перспективи територій на можливість формування значних за запасами рудоконцентрацій різної металогенічної спеціалізації з виділенням площ найбільш вірогідної їх локалізації.

Ключові слова: літосфера, металогенічна різноманітність, інтенсивний рудогенез, зона зчленування Приазовського мегаблоку і Донбасу, Волноваська рудна зона.

УДК 553.041

С. Вижва, д-р. геол. наук, проф.

E-mail: vsauniv.net.ua

М. Курило, канд. геол. наук, доц.

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua

А. Балєга, асп.

E-mail: a_balega@ukr.net

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

ОСНОВНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЕРЖАВНОГО ПЛАНУВАННЯ І ФІНАНСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ НАДР В УКРАЇНІ

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

У статті розглянуто основні засади та механізм фінансового забезпечення геологічного вивчення надр в Україні, досліджено динаміку та структуру видатків Державного бюджету на геологічну галузь у контексті реалізації функцій держави. Обґрунтовано висновок, що при стабільному зростанні загального рівня фінансової спроможності держави (в еквіваленті національної валюти) рівень фінансування геологічної галузі залишається стабільно непрогнозованим, тобто видатки на геологічну галузь втрачають свою пріоритетність у контексті їх фінансового забезпечення саме державними коштами.

Визначено місце Державної служби геології та надр як центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр. Встановлено, що фінансування геологічної галузі на загальнодержавному рівні відбувається безпосередньо через бюджетні програми, обсяг видатків яких визначається Законом України "Про державний бюджет" на відповідний рік, головним розпорядником яких є Міністерство екології та природних ресурсів, а відповідальним виконавцем – Державна служба геології та надр України. Реалізація функцій Державної служби геології та надр України відбувається в рамках виконання 2 бюджетних програм – "Керівництво та управління у сфері геологічного вивчення та використання надр" та "Розвиток мінерально-сировинної бази", яка забезпечує безпосереднє виконання та фінансування заходів Загальнодержавних програм розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 р. та 2030 р.

Оцінено особливості та стан виконання Загальнодержавних програм розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) до 2010 р. та 2030 р. Встановлено, що Програма розвитку МСБ до 2010 р. повинна була бути забезпечена на 61,8 % державними коштами та на 38,2 % іншими джерелами. Фактично Програма розвитку МСБ була профінансована за рахунок державних коштів на 72,2 % від планового показника, що призвело до часткового або повного невиконання певних завдань, задекларованих законодавчо. В основу фінансування Програми розвитку МСБ до 2030 р. було закладено 13,8 % державного фінансування та 86,2 % інших джерел фінансування. Перший етап (2011–2012 рр.) Програми розвитку МСБ до 2030 р. в частині фінансування було виконано на 66,1 %. Загалом фінансування Програми розвитку МСБ до 2030 р. в частині державного фінансування станом на 2018 р. виконано на 6,1 %.

На даний час Загальнодержавна програма розвитку МСБ некоректно відображена у паспортах бюджетних програм, які безпосередньо показують фактичний рівень її виконання та ефективність використання виділених коштів, що унеможливає проведення якісної оцінки та надання відповідних рекомендацій. Також слід зауважити, що проаналізувати виконання Програм розвитку МСБ до 2010 р. та 2030 р. в частині їх недержавного фінансування практично неможливо, оскільки не існує уніфікованої щорічної звітності підприємств реального сектору економіки щодо такого фінансування.

Ключові слова: геологічна галузь, мінерально-сировинна база, бюджетні програми, фінансове забезпечення геологорозвідувальних робіт, планування.

Постановка проблеми. Будь-яка система, як комплекс заходів, потребує досконалого вивчення її складових для прийняття рішень щодо її дієвості та ефективності функціонування. У сучасний період виконання геологорозвідувальних робіт (ГРР) нормативно існує як окремий вид користування надрами – геологічне вивчення, а також як супровід інших видів користування (видобування корисних копалин, будівництво і експлуатація підземних споруд та ін.). Головними завданнями геологічного вивчення надр є відтворення бази запасів і ресурсів корисних копалин, отримання геологічної інформації для підготовки до інших об'єктів промислового користування надр. Чинна система планування та фінансування комплексу заходів щодо геологічного вивчення надр не відповідає потребам розвитку геологічної галузі, якісному і сталому відтворенню мінерально-сировинної бази, про що свідчить невиконання показників Загальнодержавних програм розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні дослідженню засад державного управління у сфері геологічного вивчення надр та їх фінансового забезпечення присвячено наукові праці Д.С. Гурського, М.М. Корженева, І.Д. Андрієвського, В.С. Міщенко [20], Ц.Г. Огонь [2] та ін. У публікаціях названих авторів висвітлено особливості організації і фінансового забезпечення геологорозвідувальних робіт різних етапів з огляду на процеси реструктуризації галузі. Також проаналізовано міжнародний досвід забезпечення геологічного вивчення надр як частини загального процесу надрокористування.

У країнах з розвинутою ринковою економікою геологічне вивчення і промислова розробка запасів корисних копалин є сферою діяльності спеціалізованих компаній (акціонерних,

приватних, державних), метою діяльності яких є отримання прибутку. Держава контролює переважно нормативні і екологічні аспекти використання надр, а регулювання відносин "держава – надрокористувач" здійснюється через економічні механізми. В основу економічних механізмів покладені правові взаємовідносини власності на ресурси надр та їх економічна оцінка. Така схема проведення і фінансування ГРР спонукає видобувні фірми включати до пошуків і розвідки лише об'єкти, які вводитимуться в експлуатацію найближчим часом, мінімізувати фізичні обсяги і фінансові ресурси та скорочувати витрати часу на етапі розвідки [20].

Виділення не вирішених раніше частин проблеми. У перелічених публікаціях [2, 20] подано загальну систему організації і фінансування геологічної галузі без виокремлення суб'єктів і стадій геологорозвідувальних робіт. У даній роботі проведено аналіз системи державного планування і фінансового забезпечення геологічного вивчення надр в контексті виявлення причин та наслідків невиконання Загальнодержавних програм розвитку МСБ з врахуванням джерел фінансування.

Метою дослідження є аналіз діючого механізму державного планування і фінансового забезпечення геологічного вивчення надр в Україні.

Основні результати дослідження. Одним із вагомих чинників формування сталого розвитку в економіці України є належне забезпечення її потреб в мінерально-сировинних ресурсах, ефективному їх використанні, охороні та відтворенні. У даний час Україна, за рядом об'єктивних обставин, не забезпечує достатні обсяги проведення геологічних, пошукових і розвідувальних робіт, що призводить до невідповідності темпів та обсягів відтворення власної МСБ потребам держави [17].

Центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр є Державна служба геології та надр України. Відповідно до [18] діяльність Державної служби геології та надр спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра екології та природних ресурсів.

Фінансування геологічної галузі на загальнодержавному рівні відбувається безпосередньо через бюджетні програми, обсяг видатків яких, визначається Законом України "Про державний бюджет" на відповідний рік, головним розпорядником яких є Міністерство екології та природних ресурсів (МЕПР), а відповідальним виконавцем – Державна служба геології та надр України.

Стан фінансування будь-якої галузі, у контексті реалізації державної політики в цій галузі, необхідно аналізувати паралельно з показниками доходів та видатків держави в цілому, рівня інфляції та курсу національної валюти, як індикаторів фінансової спроможності щодо такого фінансування.

У період з 2006 р. по 2018 р. доходи та видатки державного бюджету в еквіваленті національної валюти мають стійку тенденцію до зростання. Доходи державного бюджету в даний період зросли у 7,2 раза з 127,5 млрд грн до 917,3 млрд грн, видатки – у 7,1 раза з 140,2 млрд грн до 991,7 млрд грн (рис. 1). Якщо дослідити динаміку доходів та видатків Державного бюджету за аналогічний період, але в доларах США, то доходи Державного бюджету збільшились лише в 1,2 раза з 25,2 млрд \$ до 30,6 млрд \$, видатки, відповідно, у 1,2 раза, з 27,8 млрд \$ до 32,7 млрд \$.

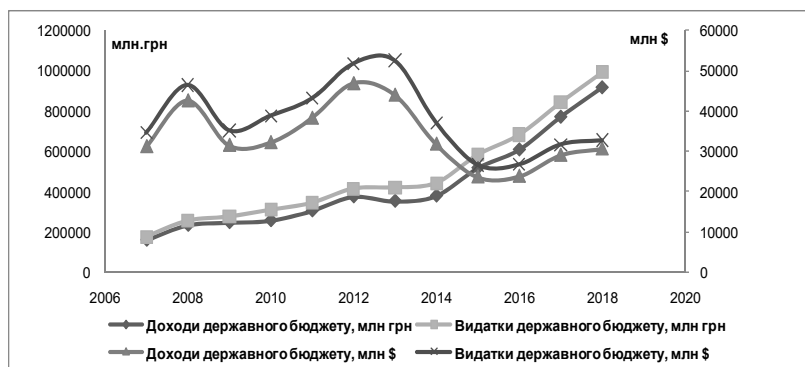


Рис. 1. Динаміка доходів та видатків Державного бюджету (2006–2018 рр.), побудовано за даними [2–15]



Рис.2. Фінансування геологічної галузі в динаміці доходів та видатків Державного бюджету в період 2006–2018 рр. (темпи зростання ТЗ у %), побудовано за даними [2–15]

Доходи та видатки Державного бюджету в період з 2006 р. по 2018 р. зростають в одній прогресії, на відміну від видатків на геологічну галузь. При стабільному зростанні загального рівня фінансової спроможності держави (в еквіваленті національної валюти) рівень фінансування геологічної галузі залишається на жаль стабільно не прогнозованим (рис. 2).

Обсяг фінансування Міністерства екології та природних ресурсів (МЕПР), відповідно до Закону України "Про Державний бюджет", з 2006 р. по 2018 р. в еквіваленті національної валюти має тенденцію до зростання. Так, даний показник у досліджуваній період збільшився у 5,7 раза з 1177,9 млн грн до 6664,9 млн грн (рис. 3).

Якщо проаналізувати обсяги фінансування Міністерства екології та природних ресурсів у перерахунку на долари США, то даний показник навпаки зменшився в 1,1 раза з 233,2 млн \$ у 2006 р. до 212,2 млн \$ у 2018 р. відповідно (рис. 4). Також слід зауважити, що питома вага фінансування Міністерства екології та природних ресурсів у видатках Державного бюджету в період з 2006 р. по 2018 р. має тенденцію до спадання з 0,84 % до 0,68 %, тобто можливо припустити, що такі видатки втрачають свою пріоритетність у контексті їх фінансового забезпечення саме державними коштами.

Реалізація функцій Державної служби геології та надр України відбувається у рамках виконання двох бюджетних програм – КПКВК 2404010 "Керівництво та управління у сфері геологічного вивчення та використання надр" та КПКВК 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази". Стратегічною метою, на досягнення якої спрямована реалізація вищевказаних бюджетних програм, є забезпечення потреб національної економіки у мінеральних та водних ресурсах, метою бюджетних програм є реалізація державної політики у сфері геологічного вивчення, раціонального використання надр та забезпечення потреб національної економіки у мінеральних ресурсах за рахунок власного видобутку, зменшення залежності України від імпорту мінеральних ресурсів та збільшення експортного потенціалу країни за рахунок власного видобутку корисних копалин, що мають великий попит на світовому ринку.

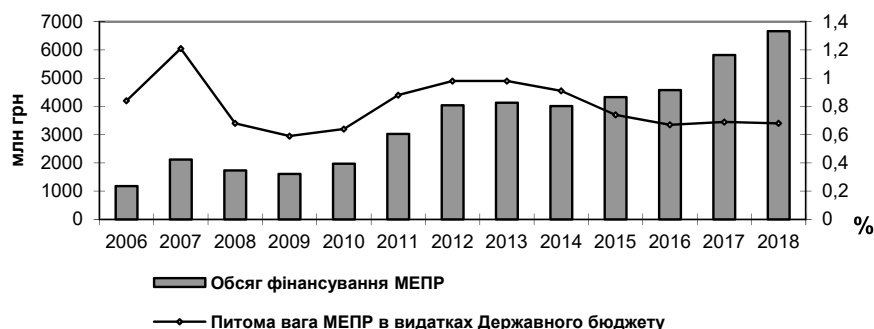


Рис. 3. Аналіз фінансування Міністерства екології та природних ресурсів в видатках Державного бюджету (2006–2018 рр.), побудовано за даними [2–15]



Рис. 5. Аналіз фінансування Державної служби геології та надр у структурі видатків Міністерства екології та природних ресурсів (2006–2018 рр.), побудовано за даними [2–15]

Дослідивши загальну динаміку фінансування Державної служби геології та надр як відповідального виконавця бюджетних програм у структурі видатків головного розпорядника Міністерства екології та природних ресурсів, можна стверджувати про значне зменшення даного показника в національній валюті, а саме у 5,5

раза з 826,0 млн грн (2006 р.) до 150,8 млн грн (2018 р.). Якщо ж дослідити валютний аспект вищезгаданого показника, то спостерігається його різке зменшення аж у 32,7 раза з 163,6 млн \$ (2006 р.) до 5,0 млн \$ (2018 р.) (рис. 6).

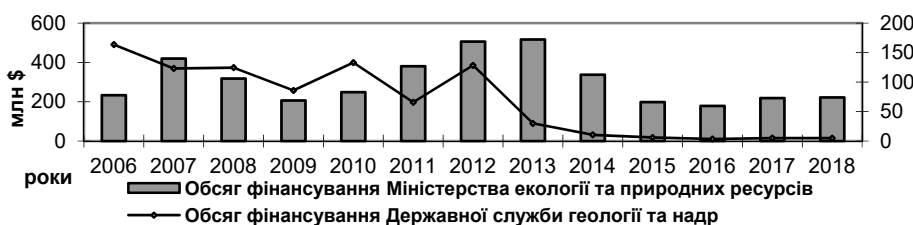


Рис. 6. Аналіз фінансування Державної служби геології та надр у структурі видатків Міністерства екології та природних ресурсів (2006–2018 рр.) – валютний аспект, побудовано за даними [2–15]

Питома вага фінансування заходів, спрямованих на забезпечення потреб національної економіки в мінеральних ресурсах у видатках Міністерства екології та природних ресурсів, за досліджуваній період зменшилась з 70,1 % (2006 р.) до 2,3 % (2018 р.), що призвело до недофінансування та часткового або повного невиконання частини завдань, покладених на Державну службу геології та надр як відповідального виконавця бюджетних програм, а саме: здійснення ефективного державного управління у сфері геологічного вивчення, охорони та

використання надр; надання якісної та повної геологічної інформації для надрокористування; виконання робіт з геологічного вивчення надр та виконання регіональних робіт; проведення моніторингу мінерально-сировинної бази держави і світу; забезпечення робіт з надрокористування, вивчення та прогнозу землетрусів; забезпечення наукового супроводження ГРР; проведення пошукових та розвідувальних робіт і одержання приросту перспективних ресурсів і запасів корисних копалин.

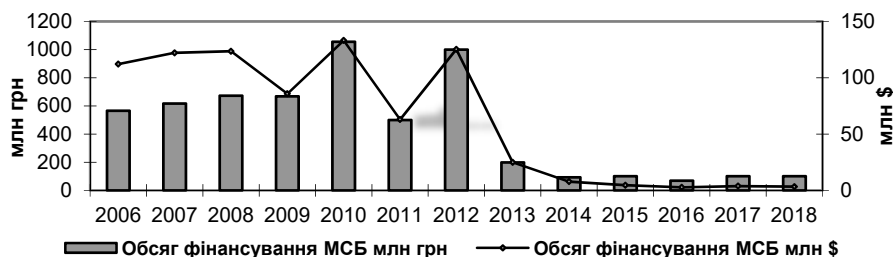


Рис. 7. Динаміка фінансування бюджетної програми КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази" (2006–2018 рр.), побудовано за даними [2–15]

З метою упорядкування та стабільності фінансування заходів щодо розвитку МСБ України було прийнято в 2006 р. Загальнодержавну програму розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 р. та в 2011 р. Загальнодержавну програму розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. Дані програми були закріплені відповідними законами № 3458-4 від 22.02.2006 р. та № 3268-6 від 21.04.2011 р., які зобов'язали Кабінет Міністрів України забезпечити виконання вищезгаданих програм та під час підготовки проекту закону про Державний бюджет України на відповідний рік передбачати виділення коштів для здійснення заходів, визначених Програмою до 2011 р., в повному обсязі, а Програмою до 2030 р. – виходячи з фінансових можливостей Державного бюджету.

Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 р. передбачала фінансування заходів, спрямованих на розвиток

пріоритетних напрямів геологічних досліджень з метою забезпечення господарства України гостродефіцитними видами власної мінеральної сировини. Фінансування геологорозвідувальних робіт розподілялось за видами сировини та характером робіт. Програма була розрахована на період з 2006 р. по 2010 р., але закон, що її затверджував, набрав чинності лише з 1 січня 2007 р. Загальний обсяг фінансування сягав 8908,94 млн грн, у тому числі за рахунок Державного бюджету 3406,84 млн грн, що склало 38,2 %, та інших джерел 5502,1 млн грн, що, відповідно, склало 61,8 %. Виконання Програми передбачалось у два етапи, перший етап передбачав фінансування 51,1 % від загального обсягу, другий – 48,9 % відповідно (табл. 1). Слід зауважити, що частка державного фінансування на першому етапі Програми більша, ніж на другому та становить 41,1 % та 35,3 % відповідно.

Таблиця 1

Обсяги фінансування заходів, передбачених Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 р., складено за даними [16]

Показники	Усього	Державний бюджет	Інші джерела фінансування
Обсяг фінансування Програми (2006–2010 рр.), у тому числі за етапами:	8908,94	3406,84	5502,1
<i>Питома вага, %</i>	100,0	38,2	61,8
1 етап (2006–2008 рр.)	4555,74	1871,04	2684,7
<i>Питома вага, %</i>	100,0	41,1	58,9
2 етап (2009–2010 рр.)	4353,2	1535,8	2817,4
<i>Питома вага, %</i>	100,0	35,3	64,7

Фінансові ресурси Програми до 2010 р. за видами робіт переважно були зосереджені на геологорозвідувальних роботах (ГРР) та становили 7238,1 млн грн., або 81,2 %, у тому числі: паливно-енергетичні ресурси – 95,1 %, металічні корисні копалини – 3,7 %, неметалічні корисні копалини – 1,2 %; для геологічних, екологічних та інших видів робіт склали 1626,94 млн грн., або 18,3 %, у тому числі: геологічне вивчення території України –

18,4 %, гідрогеологічні, інженерно-геологічні та еколого-геологічні роботи – 20,8 %, еколого-геологічне картування – 2,0 %, ГРР на континентальному шельфі та у межах виключної (морської) економічної зони – 42,3 %, глибинне вивчення надр – 0,2 %, геофізичні дослідження – 1,3 %, видавничі роботи – 1,2 %, науково-дослідні роботи – 13,8 %; на геолого-методичне супроводження та забезпечення робіт з надрокористування становили 43,9 млн грн., або 0,5 %.

Таблиця 2

Фінансування Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 р. за видами сировини, складено за даними [16]

Показники	Усього		1 етап (2006–2008 рр.)		2 етап (2009–2010 рр.)	
	млн грн	%	млн грн	%	млн грн	%
Обсяг витрат на ГРР, у тому числі:	7238,1	100,0	3938,1	100,0	3300,0	100,0
Паливно-енергетичні ресурси	6889,1	95,1	3735,0	94,9	3154,1	95,6
Металічні корисні копалини	264,3	3,7	153,9	3,9	110,4	3,3
Неметалічні корисні копалини	84,7	1,2	49,2	1,2	35,5	1,1

Порівнявши показники фінансування, затверджені Програмою до 2010 р., та обсяги фінансування бюджетної програми КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази", затверджені паспортом бюджетної програми (табл. 3), можна зробити висновок, що формальне фінансування заходів Програми до 2010 р. було забезпечено, але фактично програма була профінансована на 72,2 %, у тому числі 1 етап – 83,9 %, 2 етап – 57,9 %. Тобто у цей період Програмою до 2010 р. передбачалися видатки з Державного бюджету в обсязі 3,4 млрд грн, паспортами бюджетних програм (КПКВ 2404020) встановлювалися видатки в обсязі 3,6 млрд грн, а фактичні видатки склали лише 2,5 млрд грн, що на 0,9 млрд грн менше від встановленого законодавчо обсягу.

Таблиця 3

Аналіз виконання Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України в період з 2006 по 2010 р. (загальний фонд), складено за даними [1–16]

Показники	Всього, млн грн	1 етап			2 етап	Всього за два етапи
		2006 р.	2007 р.	2008 р.	2009–2010 рр.	
Програма розвитку МСБ до 2010 р.	1871,04	571,44	622,1	677,5	1535,8	3406,84
Закон України "Про державний бюджет" КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази"	1855,44	565,94	616,6	672,9	1723,9	3579,34
Фактично профінансовано	1569,5	1108,5		461,0	889,0	2458,5
% виконання програми	83,9	92,9		68,0	57,9	72,2
недофінансовано	-301,54	-85,04		-216,5	-646,8	-948,34

Недофінансування завдань і заходів Програми до 2010 р. пов'язане з об'єктивними причинами, у тому числі, і з недонаходженням до бюджету збору за ГРР від НАК "Нафтогаз України", якому було дозволено розстрочку

податкових зобов'язань [1], та наявність недосконалого механізму управління бюджетними коштами, підготовка не завжди ефективних і послідовних управлінських рішень у частині виконання відповідної бюджетної програми [2].

Рахунковою палатою України в результаті проведених контрольно-аналітичних заходів, а саме аналізу показників паспорту бюджетної програми "Розвиток мінерально-сировинної бази", у тому числі буріння артезіанських свердловин" (КПКВ 2404020) було встановлено, що формальний підхід у запровадженні програмно-цільового методу у сфері управління бюджетним процесом у геологічній галузі не сприяв встановленню безпосереднього зв'язку між виділеними бюджетними коштами та результатами їх використання, що негативно вплинуло на виконання показників розвитку МСБ до 2010 р. [2].

Програмою розвитку МСБ до 2010 р. передбачалося також провести технічне переоснащення підприємств геологічної галузі з метою підвищення ефективності їх діяльності в умовах ринкової економіки (1 етап реалізації Програми). Обсяги фінансування передбачались щороку в розмірі до 15 % вартості ГРР. На практиці не вдалося забезпечити належне технічне переоснащення екологічної галузі, знизити собівартість ГРР, підвищити конкурентоспроможність підприємств, впровадити інноваційні технології. Існуючий механізм інвестування галузі призводить до скорочення обсягів робіт за окремими напрямками Програми розвитку МСБ до 2010 р. і ставить під загрозу ліквідації низки спеціалізованих підрозділів у геологічних підприємств [2, 16].

Відповідно до звіту про виконання державних цільових програм у 2010 р. Міністерством екології та природних ресурсів в поясненні щодо невиконання показників якості та кількості Програми розвитку МСБ до 2010 р. було зазначено, що завдання даної програми буде виконано в межах нової Програми розвитку МСБ до 2030 р.

шляхом уточнення її завдання у новій редакції. Метою Програми розвитку МСБ до 2030 р. є забезпечення потреб національної економіки у мінеральних ресурсах за рахунок власного видобутку, зменшення залежності України від імпорту мінеральних ресурсів та збільшення експортного потенціалу країни за рахунок власного видобутку корисних копалин, що мають великий попит на світовому ринку [17]. Вищезгадана Програма передбачала виконання заходів та їх фінансування в три етапи за рахунок Державного бюджету та інших джерел фінансування. Слід зауважити, що переважна більшість завдань Програми розвитку МСБ до 2010 р. перейшли у відповідні розділи Програми до 2030 р.

У Програмі розвитку МСБ до 2030 р. було здійснено поділ корисних копалин за промислово-економічним значенням на категорії А, Б, В, Г, що дало змогу підійти більш диференційовано в контексті необхідності виконання певних завдань та забезпечення їх відповідним обсягом фінансування.

Відповідно до паспорту Програми розвитку МСБ до 2030 р. фінансування заходів передбачено в розмірі 189053,99 млн грн, у тому числі: за рахунок Державного бюджету – 26119,13 млн грн, що становить 13,8 %, інших джерел 162934,86 млн грн, що становить 86,2 %. Виконання заходів Програми розвитку МСБ до 2030 р. було передбачено у три етапи: перший етап (2011–2012 рр.) становить 6,6 % від загального обсягу фінансування, другий (2013–2020 рр.) – 34,3 %, третій (2021–2030 рр.) – 59,1 %.

Таблиця 4

Обсяги фінансування заходів, передбачених Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р., складено за даними [17]

Показники	Усього	Державний бюджет	Інші джерела фінансування
Всього по Програмі (2011–2030 рр.), у тому числі за етапами:	189053,99	26119,13	162934,9
Питома вага, %	100,0	13,8	86,2
1 етап (2011–2012 рр.)	12420,12	1730,42	10689,7
Питома вага, %	100,0	13,9	86,1
2 етап (2013–2020 рр.)	64834,66	8952,04	55882,62
Питома вага, %	100,0	13,8	86,2
3 етап (2021–2030 рр.)	111799,21	15436,67	96362,54
Питома вага, %	100,0	13,8	86,2

Перший етап (2011–2012 рр.) Програми розвитку МСБ до 2030 р. передбачав видатки з Державного бюджету в обсязі 1,7 млрд грн, паспортами бюджетних програм (КПКВ 2404020) встановлювалися видатки в обсязі 1,5 млрд грн, а фактичні видатки становили лише 1,1 млрд грн, що на 0,6 млрд грн менше від встановленого законодавчо обсягу. Тобто державне фінансування захо-

дів у рамках першого етапу Програми до 2030 р. було забезпечено на 66,1 %, у тому числі за напрямками: паливно-енергетичні ресурси на 81 %, металічні корисні копалини на 33,5 %, неметалічні корисні копалини на 45,0 %, геологічні та еколого-геологічні дослідження території України з метою нарощування мінерально-сировинної бази на 46,1 %, інші дослідження території України на 33,1 %.

Таблиця 5

Стан фінансування першого етапу Загальнодержавної програми розвитку МСБ до 2030 р. за рахунок коштів Державного бюджету, складено за даними [1, 3–15, 17]

Напрями фінансування Програми МСБ до 2030 р., 1 етап	Програма МСБ до 2030 р., млн грн	Планові обсяги фінансування бюджетної програми КПКВ 2404020, млн грн	Фактичні обсяги фінансування, млн грн	Виконання Програми МСБ до 2030 р., %
Паливно-енергетичні ресурси	1091,8	1221,1	884,7	81,0
Металічні корисні копалини	128,5	42,8	43,1	33,5
Неметалічні корисні копалини	40,2	18,4	18,1	45,0
Геологічні та еколого-геологічні дослідження території України з метою нарощування МСБ	325,2	165,8	149,9	46,1
Інші дослідження території України	144,7	51,9	47,9	33,1
Всього	1730,4	1500	1143,7	66,1

Враховуючи показники фінансування у період з 2013–2018 рр. бюджетною програмою КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази" враховано видатки в обсязі 660,52 млн грн, фактично профінансовано

547,75 млн грн, що становить 6,1 % від заявленого фінансування Програмою розвитку МСБ до 2030 р.

При формуванні додатка 2 до Програми розвитку МСБ до 2030 р. було допущено ряд технічних помилок

і некоректних даних у частині прогнозного обсягу фінансових ресурсів для виконання завдань Програми, а саме:

- усього прогнозований обсяг фінансування ресурсів для виконання повного комплексу завдань та заходів фінансування за Програмою було відображено із заниженням на 29,75 млн грн, у тому числі за рахунок державного бюджету на 29,74 млн грн, інших джерел на 0,01 млн грн;

- за першим розділом загальний обсяг фінансування заходів у частині паливно-енергетичних ресурсів завищено на 7,0 млн грн від передбаченого етапами; обсяг фінансування заходів з нагорування МСБ нафти, газу, конденсату відображено на 10,0 млн грн більше, ніж заплановано по етапах, а фінансування заходів у частині приросту запасів і ресурсів газу відображено на 20,0 млн грн менше, ніж заплановано по етапах;

- за четвертим розділом загальний обсяг фінансування заходів з геологічних та еколого-геологічних досліджень території України з метою нагорування МСБ відображено на 247,86 млн грн менше, ніж передбачено етапами, фінансування робіт з буріння свердловин завищено на 9 млн грн.

Узагальнюючи пояснення, зазначені у Звітах Міністерства екології та природних ресурсів України про результати виконання Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. [1], можна зробити висновок, що недовиконання показників програми розвитку МСБ до 2030 р. пов'язано виключно з недостатнім фінансуванням, оскільки асигнування, передбачені у загальному фонді Державного бюджету України на розвиток МСБ, не відповідають обсягам законодавчо закріпленим у Програмі.

Висновки. Державне фінансування геологічного вивчення надр в Україні відбувається в рамках затверджених Загальнодержавних програм розвитку МСБ на період до 2010 р. та 2030 р. шляхом встановлення відповідних асигнувань Законом України "Про Державний бюджет" на відповідний рік та паспортом бюджетної програми КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази". Проведений аналіз фінансування Програм розвитку МСБ до 2010 р. та 2030 р. дає змогу зробити висновок про часткове невиконання даної програми як у частині фінансування, так і в частині виконання завдань. Отже, з аналізу наведеного в статті матеріалу випливає висновок, що з 2012–2013 рр. йде цілеспрямоване руйнування геологічної галузі України.

Враховуючи особливості бюджетного процесу в частині застосування програмно-цільового методу фінансування бюджетних програм, інструментом яких виступають паспорти бюджетних програм, фінансування геологічної галузі повинно бути забезпечено встановленням безпосереднього зв'язку між виділенням бюджетних коштів та результатами їх використання. Так, на даний час Загальнодержавна програма розвитку МСБ некоректно відображена у паспортах бюджетних програм, які безпосередньо показують фактичний рівень її виконання та ефективність використання виділених коштів, що унеможливує проведення якісної оцінки та надання відповідних рекомендацій.

Слід зауважити, що проаналізувати виконання Програм розвитку МСБ до 2010 р. та 2030 р. у частині їх недержавного фінансування практично неможливо, оскільки не існує уніфікованої щорічної звітності підприємств реального сектору економіки щодо такого фінансування. Існування такої уніфікованої звітності дало би змогу активізувати II та III стадії геологорозвідувальних робіт, що виконуються за кошти бізнесу, шляхом застосування непрямих методів державної підтримки: податкові пільги, канікули, зменшення вартості дозвільних документів.

Враховуючи світовий досвід, необхідною є реструктуризація системи планування та фінансування геологічного вивчення надр із перенесенням акценту від прямого

державного фінансування до непрямих методів, що спонукатимуть видобувний бізнес до відтворення МСБ на регіональному і державному рівні.

Список використаних джерел

1. Звіти Міністерства екології та природних ресурсів України про виконання державних (загальнодержавних, цільових) програм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.menr.gov.ua/protection/protection5/261-zvity-pro-vykonannia-derzhavnykh-tsilovykh-program>
2. Огонь Ц.Г. Эффективность механизма финансового обеспечения развития минерально-сырьевой базы / Ц. Г. Огонь // Актуальні пробл. економіки. – 2012. – № 3(129). – С. 117–129.
3. Про Державний бюджет України на 2006 рік : закон України від 20.12.2005 №3235-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3235-15>
4. Про Державний бюджет України на 2007 рік : закон України від 19.12.2006 № 489-V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/489-16>
5. Про Державний бюджет України на 2008 рік : закон України від 28.12.2007 № 107-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/107-17>
6. Про Державний бюджет України на 2009 рік : закон України від 26.12.2008 № 835-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/835-17>
7. Про Державний бюджет України на 2010 рік : закон України від 27.04.2010 № 2154 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2154-17>
8. Про Державний бюджет України на 2011 рік : закон України від 23.12.2010 № 2857 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2857-17>
9. Про Державний бюджет України на 2012 рік : закон України від 22.12.2011 № 4282 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4282-17>
10. Про Державний бюджет України на 2013 рік : закон України від 06.12.2012 № 5515 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5515-17>
11. Про Державний бюджет України на 2014 рік : закон України від 16.01.2014 № 719-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/719-18>
12. Про Державний бюджет України на 2015 рік : закон України від 28.12.2014 № 80- VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/80-19>
13. Про Державний бюджет України на 2016 рік : закон України від 25.12.2015 № 928- VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/928-19>
14. Про Державний бюджет України на 2017 рік : закон України від 21.12.2016 № 1801-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1801-19>
15. Про Державний бюджет України на 2018 рік : закон України від 07.12.2017 № 2246-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2246-19>
16. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 року : закон України від 22.02.2006 № 3458-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/3458-15>
17. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : закон України від 21.04.2011 № 3268-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3268-17>
18. Про затвердження Положення про Державну службу геології та надр України : закон України від 30.12.2015 № 1174 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1174-2015-%D0%BF>
19. Про затвердження паспорта бюджетної програми на 2017 рік : наказ Міністерства екології та природних ресурсів та Міністерства фінансів України від 27.02.2017 № 93/295 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://old.menr.gov.ua/docs/normakty/2017/nakaz_93.pdf
20. Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення / за ред. С. О. Довгого. – К. : Наук. думка, 2007. – 400 с.

References

1. Reports of the Ministry of Environment of Ukraine on implementation of state (national, target) programs. URL: <http://old.menr.gov.ua/protection/protection5/261-zvity-pro-vykonannia-derzhavnykh-tsilovykh-program>. [In Ukrainian].
2. Ohon TS.H. (2012). Effectiveness of financial support mechanism for development of mineral base. *Current problems of the economy*, 3 (129), 117-129. [In Ukrainian].
3. About the State Budget of Ukraine for 2006: Law of Ukraine № 3235-IV. (2005). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3235-15>. [In Ukrainian].
4. About the State Budget of Ukraine for 2007: Law of Ukraine № 489-V. (2006). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/489-16>. [In Ukrainian].
5. About the State Budget of Ukraine for 2008: Law of Ukraine № 107-VI. (2007). URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/107-17>. [In Ukrainian].
6. About the State Budget of Ukraine for 2009: Law of Ukraine № 835-VI. (2008). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/835-17>. [In Ukrainian].
7. About the State Budget of Ukraine for 2010: Law of Ukraine № 2154. (2010). URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2154-17>. [In Ukrainian].
8. About the State Budget of Ukraine for 2011: Law of Ukraine № 28574. (2010). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2857-17>. [In Ukrainian].

9. About the State Budget of Ukraine for 2012: Law of Ukraine № 4282. (2011). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4282-17>. [In Ukrainian].
10. About the State Budget of Ukraine for 2013: Law of Ukraine № 5515. (2012). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5515-17>. [In Ukrainian].
11. About the State Budget of Ukraine for 2014: Law of Ukraine № 719-VII. (2014). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/719-18>. [In Ukrainian].
12. About the State Budget of Ukraine for 2015: Law of Ukraine № 80-VIII. (2014). URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/80-19>. [In Ukrainian].
13. About the State Budget of Ukraine for 2016: Law of Ukraine № 928-VIII. (2015). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/928-19>. [In Ukrainian].
14. About the State Budget of Ukraine for 2017: Law of Ukraine № 1801-VIII. (2016). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1801-19>. [In Ukrainian].
15. About the State Budget of Ukraine for 2018: Law of Ukraine № 2246-VIII. (2017). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2246-19>. [In Ukrainian].

16. The National program of development of mineral base of Ukraine for period to 2010: Law of Ukraine № 3458-IV. (2006). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/3458-15>. [In Ukrainian].
17. The National program of development of mineral base of Ukraine for period to 2030: Law of Ukraine № 3268-VI. (2011). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3268-17>. [In Ukrainian].
18. Provisions of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine: Law of Ukraine № 1174. (2015). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1174-2015-%D0%BF>. [In Ukrainian].
19. Passport of the Budget Program for 2017: Order of the Ministry of Environment and the Ministry of Finance of Ukraine № 93/295. (2017). URL: http://old.menr.gov.ua/docs/normakty/2017/nakaz_93.pdf. [In Ukrainian].
20. Dovgyi S.O. (Ed.) (2007). Restructuring of the mineral base of Ukraine and its information support. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian].

Надійшла до редколегії 19.01.18

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

E-mail: vsa@univ.net.ua

M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua

A. Balega, PhD student

E-mail: a_balega@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

MAIN TOOLS OF STATE PLANNING AND FINANCIAL SUPPORT OF GEOLOGICAL STUDIES IN UKRAINE

Main principles and mechanism of financial support for geological exploration in Ukraine are defined. Dynamics and structure of the State budget expenditures for geological industry are studied in context of the state functions. The paper is based on conclusions that the level of financing for the geological industry remains stably unpredictable with stable growth of overall level of the state's financial viability (in the equivalent of the national currency). Costs for the geological industry lose their priority in the context of their financial support by state funds.

Place of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine is defined as the central executive service implementing the state policy in direction of geological study and rational use of mineral resources. State financing of geological industry at the national level takes place directly through budget programs, amount of expenditures of which is determined by Laws of Ukraine "About the State Budget" for every year. Main manager of these financial resources is the Ministry of Environment of Ukraine, and the responsible executive is the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. Implementation of State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine functions takes place within two budget programs – "Management of Geological Exploration and Subsoil Using" and "Development of the Mineral Raw Materials Base" which provides direct financing of the National development program of mineral base of Ukraine for period to 2010 and 2030.

The peculiarities and implementation state of national programs development of mineral base of Ukraine for period to 2010 and 2030 are estimated. It was defined that the National program for period to 2010 had to be provided by 61.8% with public funds and by 38.2% with other sources. Actually, the National program was financed with public funds by 72.2% of target index, which caused partial or complete unrealisation of certain tasks declared by law. The basis for financing the National development program of mineral base of Ukraine for period to 2030 was 13.8% of state financing and 86.2% of other sources' financing. The first stage (2011-2012) of the Program until 2030 was realized by 66.1%. In general, the financing of the Program until 2030 in part of state financing for 2018 was realized by 6.1%.

Actually, the National development program of mineral base of Ukraine for period to 2030 is not correctly reflected at budget programs' passports, which directly show the level of its implementation and efficient use of appropriations. It makes impossible to provide qualitative assessment and appropriate recommendations concerning these issues. It should also be noted that it is impossible to analyze implementation of National development program of mineral base of Ukraine in part of their private financing, as there is no annual enterprises reporting forms of real sector of such financing.

Keywords: geological industry, mineral resource base, budget programs, financial support of exploration, planning.

C. Вижва, д-р.геол. наук, проф.

E-mail: vsauniv.net.ua

M. Курило, канд. геол. наук, доц.

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua

A. Балєга, асп.

E-mail: a_balega@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР В УКРАИНЕ

В статье рассмотрены основные принципы и механизм финансового обеспечения геологического изучения недр в Украине, исследованы динамика и структура расходов Государственного бюджета на геологическую отрасль в контексте реализации функций государства. Обсуждены выводы, что при стабильном росте общего уровня финансовой состоятельности государства (в эквиваленте национальной валюты) уровень финансирования геологической отрасли остается стабильно непрогнозируемым, то есть расходы на геологическую отрасль теряют свою приоритетность в контексте их финансового обеспечения именно государственными средствами.

Определено место Государственной службы геологии и недр как центрального органа исполнительной власти, реализующего государственную политику в сфере геологического изучения и рационального использования недр. Установлено, что финансирование геологической отрасли на общегосударственном уровне происходит непосредственно через бюджетные программы, объем расходов которых определяется Законом Украины "О государственном бюджете" на соответствующий год, главным распорядителем которых является Министерство экологии и природных ресурсов, а ответственным исполнителем – Государственная служба геологии и недр Украины. Реализация функций Государственной службы геологии и недр Украины происходит в рамках выполнения двух бюджетных программ – "Руководство и управление в сфере геологического изучения и использования недр" и "Развитие минерально-сырьевой базы", которая обеспечивает непосредственное выполнение и финансирование мероприятий общегосударственных программ развития минерально-сырьевой базы Украины на период до 2010 г. и 2030 г.

Оценены особенности и состояние выполнения общегосударственных программ развития минерально-сырьевой базы до 2010 г. и 2030 г. Установлено, что Программа развития МСБ до 2010 г. должна была быть обеспечена на 61,8 % государственными средствами и на 38,2 % другими источниками. По факту Программа развития МСБ была профинансирована за счет государственных средств на 72,2 % от планового показателя, что привело к частичному или полному невыполнению определенных задач, задекларированных законодательно. В основу финансирования Программы развития МСБ до 2030 г. было заложено 13,8 % государственного финансирования и 86,2 % других источников финансирования. Первый этап (2011–2012 гг.) Программы развития МСБ до 2030 г. в части финансирования был выполнен на 66,1 %. В целом финансирование Программы развития МСБ до 2030 г. в части государственного финансирования по состоянию на 2018 г. выполнен на 6,1 %.

В настоящее время общегосударственная программа развития МСБ некорректно отражена в паспортах бюджетных программ, которые непосредственно показывают фактический уровень ее выполнения и эффективность использования выделенных средств, делает невозможным проведение качественной оценки и предоставления соответствующих рекомендаций. Также следует отметить, что проанализировать выполнение программ развития МСБ в 2010 г. и 2030 г. в части их негосударственного финансирования практически невозможно, так как не существует унифицированной ежегодной отчетности предприятий реального сектора экономики по такому финансированию.

Ключевые слова: геологическая отрасль, минерально-сырьевая база, бюджетные программы, финансовое обеспечение геологоразведочных работ, планирование.

УДК 553.411.071

H. Villena, MSc.
Chief Geologist of Modeling and Mineral Resources
E-mail: hvillena@losandesgold.com
CDC Gold, Los Andes Peru Gold Mining Company
1420 La Encalada Str., Surco, Lima, Peru, 33

"EL TORO" GOLD MINE (PERU): GEOLOGICAL FEATURES AND PERSPECTIVES

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

El Toro is an epithermal gold deposit with an epizonal conformation being hosted in the clastic sediments of lower Cretaceous (Chimu Formation). The ore deposit is located in La Libertad Region in northern Peru. Spatially it configures an elongated geometry that aligns with the Andes mountain ridges; geomorphologically it is a 1.0 x 1.5 km dome structure. The dome axis is formed by a subvolcanic intrusion of dacite / andesite composition (20–18 Myr), the basement deposit consists of pelitic rocks, slate, shales and carbonaceous slimes of Chicama Formation. They are underlain by clastic sequences of Goyllarisquiza Group conformed to quartz and laminar sandstones. Locally, four tectonic events (ET) are recognized: ET-2 (overthrust faults), ET-4 (NW-SE faults), ET-5 (high angle NW-SE faults) and ET-6 (annular faults). Mineralization in oxides constitutes 80% of current mineral resources and is related to sedimentary rocks, tectonic breccia, hydrothermal breccia, collapse breccia and oxidized dacite blocks; while sulfides and mixed materials are restricted to dacite/andesite bodies.

The resource estimation results performed in 2014 (NI 43-101 Resources Technical Report, El Toro gold project) determine: 65,000 gold ounces of measured resources, 27,600 gold ounces of indicated and 398,000 gold ounces of inferred resources.

According to projection and based on the interpretation and correlation of structural styles, lithological domains and similar ore deposits, approximately 1,500 km² demarcation is outlined (El Toro-Altagracia, proposal of a new mining district). This preliminary interpretation is also based on analogical correlation with other mining districts with similar genesis and resources that would surpass in total thirty million gold ounces.

Keywords: epithermal gold deposit, clastic sediments mineralization, mining district, lithological and structural interpretation, 3D geologic modeling.

Introduction. The northern segment of Peru hosts an extensive variety of polymetallic resources, genetically related to evolution of the Andean tectonics, highlighting the ore deposits with gold mineralization (Au-Cu porphyries, Au-Ag epithermal, the gold deposits related to batholithic and metamorphic complexes, etc.). Such a geological peculiarity is shown in the review of the national gold production (2016) which localized mainly in following regions: La Libertad (28.7%), Cajamarca (23.6%), Madre de Dios (11.6%), Arequipa (10.9%), Ayacucho (7.6%), Puno (6.7%) and others (10.9%). The first and second ones are located in the northern segment of region and both amount to more than 50% of national production. El Toro gold deposit belongs to the group of mines that are distributed in la Libertad region and they can be geologically treated as an epithermal deposit of epizonal nature that is specially related to a subvolcanic intrusion. It is localized in the clastic sediments of the Chimu Formation (Lower Cretaceous), in the structural association with overthrusts, high bedding faults and narrow folds.

Regional geological context. The oldest rocks formations are represented by sediments of Permo-Triassic age that expose to NE of San Marcos city and occupy the area of approximately 1 km². Nevertheless, their greater development has been distinguished in adjacent zones. Above these deposits Mesozoic rocks are exposed which are followed by Cenozoic unconformity cover comprised of effusive rocks.

At the upper section thin lacustrine and fluvio-glacial deposits of quaternary age are exposed. The Mesozoic clastic sediments are generally continental (fluvial and deltaic), especially in eastern part where they are thin and increase in thickness westward [2]. Sandstones and quartzite of platform basin are interbedded with limestones and shales of Santa formation, some levels of paragneisses.

These deposits are continued by shales, sandstones and quartzite of Carhuaz formation, ending at the top with a predominance of quartzite of Farrat formation. This suggests that basin sector was subjected to the subsidence movements which are separated from Marañon geanticlinal of the western basin. It is evident that the basin was related to a shallow sea during Goyllarisquiza group deposition [7], where a constant exchange of water gave rise to the intensively oxygenated zones. As it was sinking, it was being filled with clastic materials, so that the same levels

were maintained. Therefore, the clastic sedimentation area had a long period of apparent stability with constant movement, as a result, there was sediments accumulation about 2,000 m [11].

The plutonic bodies do not crop out, but some stocks, sills and dikes cut volcanic and sedimentary rocks. The deepest intrusive bodies are generally represented by diorites, tonalites and granodiorites, constituting coastal batholith prolongation. The hypabyssal bodies mostly occur as andesitic and dacitic porphyries that arise indistinctly within the area, often confined to the metalliferous minerals. The dispersed outcrops in the area allow investigating a relation between them. The studies performed in the neighboring areas confirm that the intrusive unit has following paragenetic relationship: diorite-granodiorite-tonalite-porphyritic dacites-andesites-granites. Granodiorites, dacites and porphyritic dacites act on Calipuy group (fig. 1), emphasizing that diorites appear to still intrude to San Pablo volcanic unit [12].

Tectonically there is evidence of four deformation stages that began in late Cretaceous and continued during Cenozoic, all of which corresponding to Andean cycle movements. Approximately, at Upper Jurassic, Peruvian occidental basin and Marañon geanticline began to form. Probably distension forces influenced the development of two great elements: a graben (west) and a horsts (east) [12]. Naturally, the sedimentation began to accumulate in the basin continuously and it, in turn, was slowly subsiding.

Between Aptian and early Albian, the marine transgression advanced towards the Marañon geanticlinal, completely covering the basin during the interval between Albian and Senonian. A thicker calcareous cover left in the basin lithological changes that correspond to the basin-platform slope change. At the end of the cycle of sea sedimentation in Senonian, when the sea covered Andes mountain ridge and the Amazon basin part in early Santonian, the basin and Marañon geanticlinal were affected by epirogenetic movements, raising large regions of the basin and platform, thus initiating a clastic accumulation in lower parts (Chota formation) [3]. The second Andean cycle movement is the main movement in this zone. Early Tertiary is characterized by high compression forces, originated in vectors from southwest that pushed a sedimentary prism towards northeast, intensely folding the sediments in the basin sector and

producing an overthrust on its eastern side that occurred after Chota formation deposition. As a result of this movement, a massif emerged to relatively moderate heights, without becoming true mountains, but with enough

of a topographic contrast and was subjected to an intense erosion, whose removed materials were deposited discordantly in the lower part of the folded series, recognized as Huaylas formation [12].

ERATHM	SYSTEM	SERIES	STRATIG. UNITS	(m)	LITHOLOGY	DESCRIPTION
CENOZOIC	QUATERNARY	HOLOCENE	Fluvial, glacial and lagoon deposit			Sands, gravels, limes and clays. Conglomerates, sandstones and red clays. Shales, lutites and white-yellow fine sandstone. Shales, lutites and white-yellow fine sandstone. Dacitic tuff and trachyandesites whitish.
						Angular discordance
	NEOGENE	PLEISTOCENE	Condebamba Fm.	150		Yellowish white tuff with sandstone interleaved Agglomerate and piroclastic.
			Cajabamba Fm.	200		
		MIOCENE	Bambamarca Fm.	300		
	PALEOGENE	OLIGOCENE	Calipuy Group	Porculia Fm.	2100	Dacite Spills andesitic, whitish tuff, tuffaceous sandstone and tuffaceous lutites. Volcanics spills and andesite breccias.
						Diorite Whitish tuff interleaved with sandstone sequences and tuffaceous lutites.
		EOCENE	Llama Fm.	600		Volcanics spills and andesite breccias.
						Angular discordance
		PALEOCENE	Chota Fm.	500		Conglomerate with quartzite pebbles. Conglomerates with limestone pebbles and redish sandstones
MESOZOIC	CRETACEOUS	UPPER	Celendin Fm.	200		Limestones, limolite and lutite yellowish gray.
			Cajamarca Fm.	600-700		Limestones bluish gray with intercalates thin lutite and limolite.
			Quilquiñan Gp.	500		Nodular limestone, limolite and fossiliferous lutite yellowish brown.
			Pullucana Gp.	700		Brownish gray limestone, fossiliferous, limolite.
		LOWER	Pariatambo Fm.	150-200		Gray or black lutites, bituminous nodular limestone.
			Chúlec Fm.	200-250		Sandy limestone, calcareous lutite and limolite.
			Inca Fm.	150		Calcareous sandstone and ferruginous limolite.
			Farrat Fm.	500		Quartzite and white sandstone.
			Carhuáz Fm.	500		Redish sandstone and white intercalate quartzite with gray lutites.
			Santa Fm.	150-100		Gray lutites and limestones.
			Chimú Fm.	80-600		Sandstone, quartzite, lutite and coal in lower horizons and quartzite in upper horizons.
	JURASSIC	UPPER	Chicama Fm.	500		Black lutite (laminar and brittle) with gray sandstone intercalations and limolites horizons
		MIDDLE	Oyotún Fm.	500		Angular discordance Tuff breccias and andesitic spills.
						Tonalite/Granodiorite Angular discordance
	TRIASSIC	UPPER	Pucará Gp.	700-800		Gray bluish limestone and siliceous nodules.
						Angular discordance
PALEOZOIC	PERMIAN	UPPER	Mitu Gp.	300		Sandstone, limolites and red conglomerates. Angular discordance
	ORDOVICIAN		Salas Fm.	?		Brown schist with quartzite. Angular discordance
PROTEROZOIC			Olmos Complex	?		Greenish schist and amphibolites.

Fig. 1. La Libertad Region stratigraphic column

The third deforming movement probably began at early Tertiary and continued until middle Tertiary, after a post-tectonic Calipuy group volcanic accumulation, developing structures with the same direction as the second movement.

Regionally, it seems that the greatest volcanic rocks accumulation occurred in western part of the basin, where the first levels were interbedded with lenticular conglomerates [4]. Generally, this deposition was sub-

aerial, reaching thickness that exceeds 2,000 m. The third deforming movement was also characterized by compression. It affected the volcanic series with the incipient folding produced for the block faults, the upper undulating structures reached heights above their original positions, being therefore subjected to prolonged interval erosion, which resulted in a peneplanation, developing an erosion surface called the "Puna" surface.

The fourth movement was epirogenetic and resulted in the elevation of the Andean region to present levels. These deformation phases are evidenced by discordances, folds and other structures regionally, it looks like the tectonic movements in some sectors have been more intense than in others. Main structures in the study area are directly related to the second Andean cycle movement, which clearly defined two structural provinces: a province of folds and an overthrust province [6].

El Toro gold deposit. El Toro is an epithermal gold deposit with an epizonal structure being hosted in the clastic

sediments of lower Cretaceous (Chimu Formation). The ore deposit is located in La Libertad Region in northern Peru. Spatially it is configured as elongated geometry that aligns with the Andes mountain ridges; geomorphologically it is a 1.0 x 1.5 km dome structure (fig. 2), the axis of the dome is formed by a subvolcanic intrusion of dacite / andesite composition (20-18 My). The basement deposit is represented by pelitic rocks, slate, shales and carbonaceous slimes of Chicama Formation. They are underlain by clastic sequences of Goyllarisquizga Group conformed to quartz and laminar sandstones. Locally, four tectonic events (ET) are recognized: ET-2 (overthrust faults), ET-4 (NW-SE faults), ET-5 (high angle NW-SE faults) and ET-6 (annular faults). The mineralization occurs in oxides that constitutes 80% of current mineral resources and is related to sedimentary rocks, tectonic breccia, hydrothermal breccia, collapse breccia and oxidized dacite blocks; while sulfides and mixed materials are restricted to dacite/andesite bodies [10].



Fig. 2. El Toro gold mine panoramic view, Huamachuco district

El Toro ore deposit structural specificities were interpreted and recorded in general plane (fig. 3) representing most mapped elements, which were later classified as tectonic events (ET). Criteria for this grouping are: geometric elements, faults mechanics, kinematic interpretation, mineral association and tectonic material characteristics. All of this is

based on tectonic environments reconstruction and geological history of the Andes. Therefore, lithological units arrangement, mineral zones, rock competence and other geological variables will have an intrinsic relationship with conjugate dynamics of these planar elements.

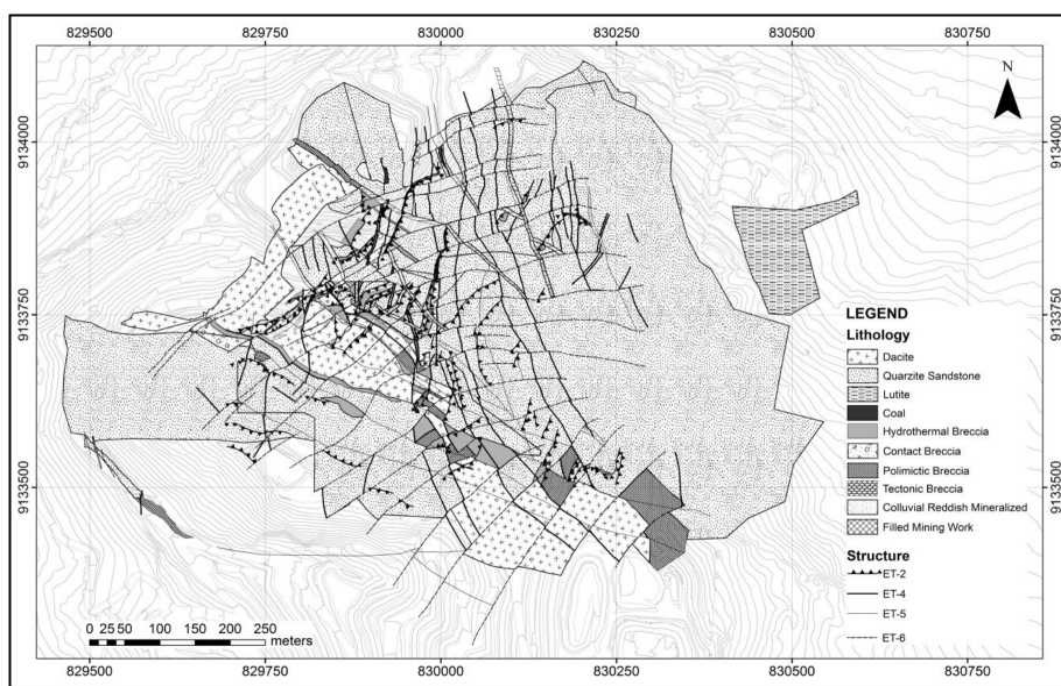


Fig 3. El Toro geologic map, Huamachuco district

The rocks arrangement is in relation to the structural framework. There are: ET-2 (overthrust faults that make tectonic windows), ET-4 (steeply dipping faults with associated gold mineralization), ET-5 (post-mineralization faults of NW-SE strike and E dip to E). The last one corresponds to higher levels of Andean tectonics, geographically limiting this sector and forming prominent cliffs. For example, these faults control the east and west flanks of El Toro ore deposit and generate tectonic breccia of considerable thickness. Finally, ET-6 demarcates igneous intrusions in collapse calderas which have an annular appearance with vertical and horizontal displacement (associated with transfer faults) [5]. They break the deposit and form the current structure (fig. 4).

Geological interpretation involved design and digitalization of six cross sections and three longitudinal sections (L. Central, LNE +100 and LNE -100). These sections have the separation of 100 meters between them (fig. 5), comprising an approximate area of 350,000 m². The modeling contemplates 3D detail of all geological variables mapped (faults and lithology). Figure 6 is a hypothetical regional model.

The resources estimation results are summarized in Technical Report 43-101 (NI 43-101 Resources Technical Report, El Toro gold project) [8]. They are shown in table 1 and based on information of RC-DDH historic drilling campaigns, production drill holes, trench samples, mining banks and the mineralized zone model.

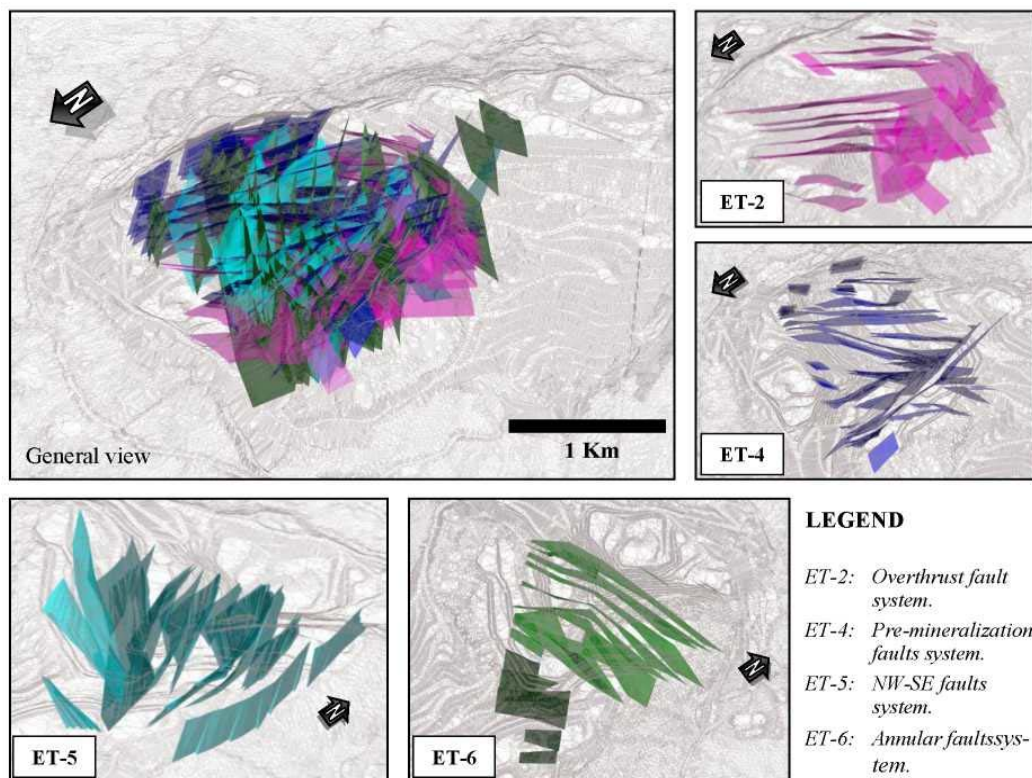


Fig. 4. Structural model 3D, El Toro gold mine, Huamachuco district

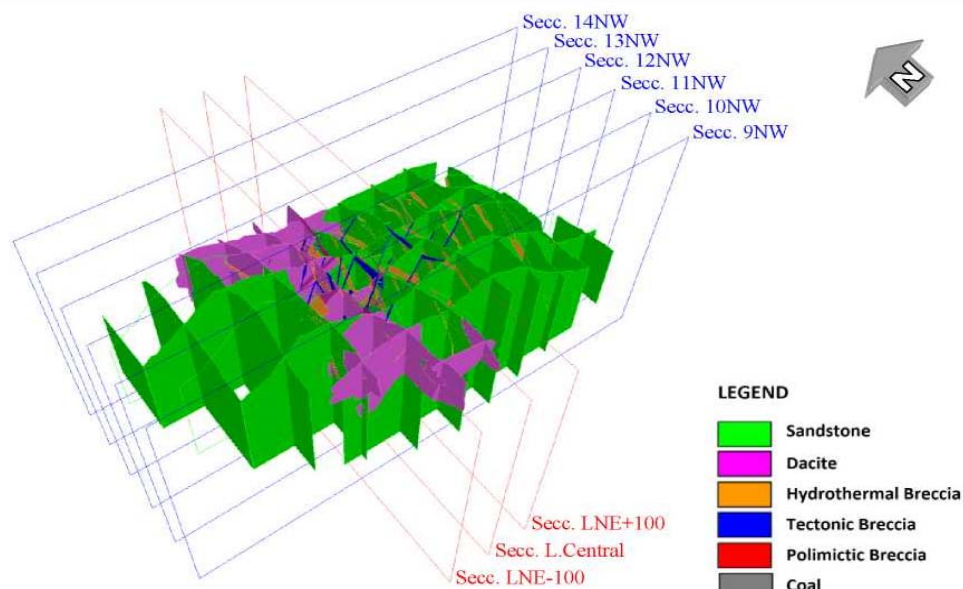
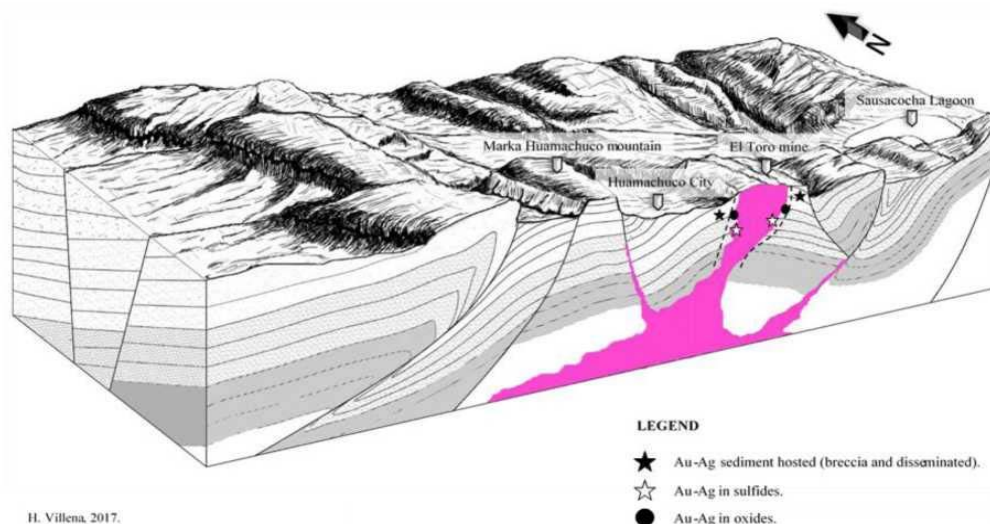


Fig. 5. Lithological model 3D, El Toro gold mine, Huamachuco district



H. Villena, 2017.

Fig. 6. Hypothetical model regional, Huamachuco district

Table 1

The resources estimation 2014, El Toro gold mine

Category	Tonnage	Au (g/t)	Au (Ounces)
Measured	5'660,000	0,36	65,000
Indicated	19'060,000	0,45	276,000
Measured + Indicated	24'720,000	0,43	340,000
Inferred	25'460,000	0,49	398,000

Cut off: 0,16 g/t Au;

Estimate resources without dilution;

Mineral resources restricted to an open pit with value of 1,265 \$/Oz

Based on the compilation, validation and interpretation of RC and DDH drilling (16,000 m approx.), access and open pit development, transversal and longitudinal sections are used to define a geo-structural model that is an important support for developing an aggressive DDH and RC drilling Program (10,000 m of DDH drill and 15,000 m of RCD drill). The details are shown in fig. 8.

The main objectives of 2016-2017 Drilling program are: (1) to define areas of condemnation to develop operational infrastructures; and (2) to increase mineral resources. Exploratory campaign 2106-2017 has good expectations, some results of this exploratory campaign are show in fig. 9 (PE16-TO-DH0017 and PE17-TO-DH0024), where breccia and oxidized zones are observed.

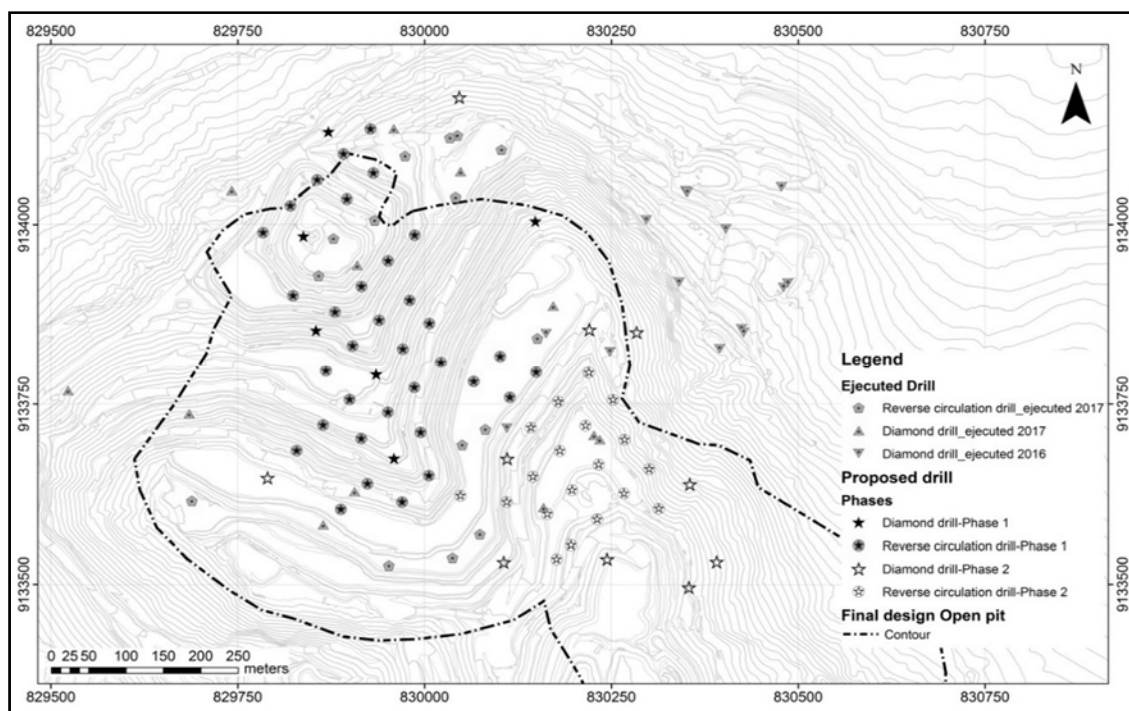


Fig. 8. Drilling campaign 2016-2017 (DDH and RCH), El Toro gold mine



Fig 9. Drill core PE16-TO-DH0017 (left) and PE17-TO-DH0024 (right), El Toro gold mine

Regional exploratory expectations. The configuration and the establishment of Peruvian deposits interrelate with the Andean mountain ridge course, defining twenty-four metallogenic belts [1]. The deposits of the northern Peru are mostly auriferous, including a great variety of mining occurrences, exhibiting from deep systems to apical levels, directly associated with intrusives or being housed in secondary structures.

Specifically, "XX metallogenic belt" (Cu-Mo-Au porphyry, Pb-Cu-Zn-Ag skarn and polymetallic deposits related to intrusives Miocenes), is formed by tectonic activity during upper Mesozoic to Cenozoic, which is associated with intensive igneous Miocene activity. It contributed to ore generation and formation of big gold deposits.

According to projection and based on the interpretation and correlation of structural styles, lithological domains, mineral occurrences configuration of approximately 1,500 km² was limited. This preliminary interpretation is also based on analogical correlation with other mining districts with contemporary genesis and resources that would surpass in global thirty million gold ounces globally and consequently, it means increase in exploratory potential of resources in this region (fig. 10). It has been established by preliminary assessment that preponderant control mineralization is structural, with four regional tectonic events, which configure not only mineral occurrence but also geographic peculiarities. These traits are good exploration guides [9].

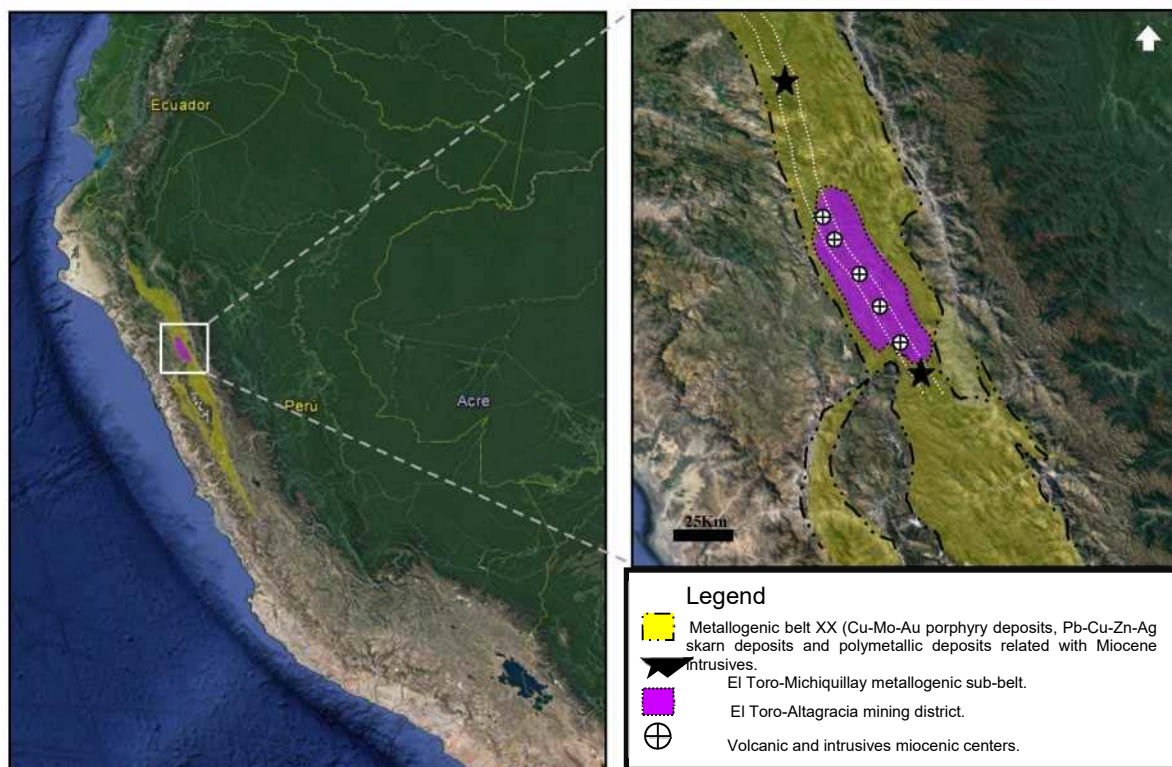


Fig. 10. The delimitation of El Toro-Altigracia mining district, Northern Peruvian

Список використаних джерел

1. Acosta J. Mapa Metalogenico del Peru / J. Acosta, J. Quispe, R. Rivera et al. – Instituto geologico, minero y metalurgico del Peru, 2017.
2. Benavides V. Sistema Cretacico en el norte peruano / V. Benavides // Museo Americano de Historia Natural. – 1956. – Bol. 108,4. – P. 353–494.
3. Broggi J. Geologia de los cuadrangulos del rio Chotano en Lajas / J. Broggi // Sociedad Geologica del Peru. – 1942. – Bol. 12,1. – P. 5–23.
4. Cossio A. Geologia de los cuadrangulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa / A. Cossio– 1964. – Bol. 8. – P. 69.

5. Corbett G. Sistemas de oro-cobre en el borde pacifico suroeste / G. Corbett, T. Leach // Sociedad de Geologia Economica. – 1998. – Pub. Esp. 6.
6. Jacay J. Estratigrafia y sedimentologia del Jurasico, curso medio del valle Chicama y esbozo paleogeografico del Jurasico-Cretacico del norte peruano / J. Jacay // Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. – 1992. – P. 166.
7. Laughlin D. Geologia y fisiografia de la cordillera peruana. Departamentos de Jun?n y Lima / D. Laughlin // Sociedad Geologica de America. – 1924. – Bol. 35, 3. – P. 591–632.

8. SGS Geostat. NI 43-101 Reporte tecnico de recursos, Proyecto aurofero El Toro, 2014. – P. 83.

9. Villena H. El Toro – Altagracia, el nuevo distrito aurifero del norte peruano (Connotaciones geologicas y expectativas exploratorias) Region La Libertad, Peru / H. Villena, C. Salinas // Resumen tecnico XXXIII PERUMIN. – 2016. – P. 3–4.

10. Villena H. El Toro, Caracteristicas y evidencias de un gran yacimiento aurifero, Huamachuco, Region La Libertad, Peru. / H. Villena, C. Salinas // Resumen tecnico XXXIII PERUMIN. – 2016. – P. 1–5.

11. Wilson J. Estratigrafia Cretacica de los andes centrales de Peru / J. Wilson // AAPG. – 1963. – Bol. 47, 1. – P. 1–34.

12. Wilson J. Geologia de los cuadrangulos de Mollebamba, Tayabamaba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari / J. Wilson, L. Reyes // Servicio de Geologia y Minería. – 1967. – Bol. 16. – P. 104.

Reference

1. Acosta, J., Quispe, J., Rivera, R., Valencia, M., Chirif, H., Huanacuni, D., Rodriguez, I., Villarreal, E., Paico, D., Santiesteban, A. (2017). Metalogenic Map of Peru. Geological, mining and metallurgical institute of Peru.

2. Benavides, V. (1956). Cretaceous system in northern Peru. American Museum of Natural History, 108, 4, 353-494.

3. Broggi, J. (1942). The geology of quadrangles: Chotano river en Lajas. Geologic Society of Peru, 12, 1, 5-23.

4. Cossio, A. (1964). The geology of quadrangles: Santiago de Chuco and Santa Rosa, 8, 69.

5. Corbett, G., Leach, T. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, alteration and mineralization. Society of economic Geologist. Sp. Pub. 6.

6. Jacay, J. (1992). Jurassic stratigraphy and sedimentology, Chicama valley and Jurassic-Cretaceous paleogeographic outline of northern Peru. Thesis. San Marcos University National, 166.

7. Laughlin D. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera. Departaments of Junin and Lima. Geological Society of America, 35, 3, 591-632.

8. SGS Geostat. (2014). NI 43-101 Resources Technical Report, El Toro gold project, 83.

9. Villena, H., Salinas, C. (2016). El Toro – Altagracia, The new gold district of north Peruvian (Geological Connotations and Exploratory Perspectives), La Libertad Region, Peru, Technical summary XXXIII PERUMIN, 3-4.

10. Villena, H., Salinas, C. (2016). El Toro, Characteristics and evidences of great gold deposit, Huamachuco, La Libertad Region, Peru. Technical summary XXXIII PERUMIN, 1-5.

11. Wilson, J. (1963). Cretaceous stratigraphy of Central Andes os Peru. AAPG, 47, 1, 1-34.

12. Wilson, J., Reyes, L. (1967). The geology of quadrangles: Mollebamba, Tayabamaba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz and Huari. Geology and mining Service, 16, 104.

Надійшла до редколегії 13.08.17

Г. Вілена, голов. геолог
E-mail: hvillena@losandesgold.com
CDC Gold, Los Andes Peru Gold Mining Company
Відділ моделювання і мінеральних ресурсів
1420 La Encalada Str., Surco, Lima, Peru, 33

ЗОЛОТОРУДНЕ РОДОВИЩЕ "EL TORO" (ПЕРУ): ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ПЕРСПЕКТИВИ

Епітермальне родовище золота Ель-Торо локалізоване в осадових породах нижньої крейди (формація Chimu), у регіоні La Libertad в північній частині Перу, характеризується епізональною будовою. Рудний район El Toro-Altagracia, до якого приурочене родовище, витягнутий у північно-північно-західному напрямку, згідно з простяганням гірських хребтів Анд, більш ніж на 100 км при ширині до 25 км. Родовище приурочене до куполоподібної структури розміром 1,0 x 1,5 км, ядро купола представлене субвулканічною інтрузією дацит-андезитового складу, віком 18–20 млн років. Вмісні породи представлені пелітами, сланцями, вулканічними сланцями формації Chicata, які підстилаються кварцовими смугастими пісковиками серії Goyllarisquiza. Виділяється чотири тектонічних фази (ЕТ): ЕТ-2 (формування насувів), ЕТ-4 (скиди північно-західного напрямку), ЕТ-5 (круті розломи північно-західного напрямку) і ЕТ-6 (кільцеві розломи). Мінералізація представлена переважно оксидами (до 80 %), пов'язана з осадовими породами, тектонічними, часто мінералізованими брекчіями, окисненими дацитами, в останніх розвивається також сульфідна і змішана мінералізація.

За результатами оціночних робіт (звіт NI 43-101, 2014 р.) розвідані запаси золота родовища становлять 65 000 унцій; попередньо розвідані запаси – 27 600 унцій, прогнозні ресурси – 398 000 унцій.

На основі інтерпретації та кореляції структури, літології цього і подібних рудних родовищ виділено новий рудний район El Toro-Altagracia площею близько 1500 км², аналогічний за генезисом і ресурсами золота іншим відомим у регіоні золоторудним районам. Їх загальні ресурси перевищують 30 млн унцій золота.

Ключові слова: епітермальне родовище золота, мінералізація осадових відкладів, рудний район, літологічна і структурна інтерпретація, геологічне моделювання 3D.

Г. Вилена, глав. геолог
E-mail: hvillena@losandesgold.com
CDC Gold, Los Andes Peru Gold Mining Company
Отдел моделирования и минеральных ресурсов
1420 La Encalada Str., Surco, Lima, Peru, 33

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ "EL TORO" (ПЕРУ): ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ

Эпитермальное месторождение золота Эль-Торо локализовано в осадочных породах нижнего мела (формація Chimu), в регионе La Libertad в северной части Перу, характеризуется эпизональным строением. Рудный район El Toro-Altagracia, к которому приурочено месторождение, вытянут в северо-северо-западном направлении, согласно простиранию горных хребтов Анд, более чем на 100 км при ширине до 25 км. Месторождение приурочено к куполоподобной структуре размером 1,0 x 1,5 км, ядро купола представлено субвулканической интрузией дацит-андезитового состава, возрастом 18–20 млн лет. Вмещающие породы представлены пелитами, сланцами, углеродистыми сланцами формации Chicata, которые подстилаются кварцевыми полосчатыми песчаниками серии Goyllarisquiza. Выделяется четыре тектонические фазы (ЕТ): ЕТ-2 (формирование надвигов), ЕТ-4 (сбросы северо-западного направления), ЕТ-5 (крутопадающие разломы северо-западного направления) и ЕТ-6 (кольцевые разломы). Минерализация представлено преимущественно оксидами (до 80 %), связана с осадочными породами, тектоническими, часто минерализованными брекчиями, окисленными дацитами, в последних развивается также сульфидная и смешанная минерализация.

По результатам оценочных работ (отчет NI 43-101, 2014 г.) разведанные запасы золота месторождения составляют 65 000 унций; предварительно разведанные запасы – 27 600 унций, прогнозные ресурсы – 398 000 унций.

На основе интерпретации и корреляции структуры, литологии этого и подобных рудных месторождений выделен новый рудный район El Toro-Altagracia площадью около 1500 км², аналогичный по генезису и ресурсам золота другим известным в регионе золоторудным районам. Их общие ресурсы превышают 30 млн унций золота.

Ключевые слова: эпитермальное месторождение золота, минерализация осадочных отложений, рудный район, литологическая и структурная интерпретация, геологическое моделирование 3D.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 504:61: 669.1+ 556.314: 556.332

В. Долін, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vdolin@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

Є. Яковлев, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

О. Щербак, канд. геол. наук, наук. співроб.

E-mail: scherbak_olesia@ukr.net

С. Мещеряков, асп.

E-mail: mescheriakov@mail.ua

ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

пр. Акад. Палладіна, 34а, м. Київ, 03680, Україна

Г. Пампуха, президент

E-mail: secretary@chea-taic.be

Європейська арбітражна палата, Ave. Louise, 146, Brussels, Belgium

**ПРОВІДНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ВОД
ПІД ВПЛИВОМ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА
(НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)*

Мета і завдання. Вивчення хімічного складу підземних вод природно-техногенного водоносного горизонту, що сформувався в межах майданчика металургійного виробництва Дніпровського металургійного заводу. Завдання дослідження: виявити основні забруднювачі підземних вод; встановити просторову структуру поля забруднення; класифікувати територію промайданчика за рівнем екологічного навантаження від основних забруднюючих речовин; оцінити міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах.

Методика. Концептуальне положення методики досліджень базувалось на ролі верхньої зони геологічного середовища (ненасиченої зони або зони аерації) як головного "акумуляючого депо" більшості техногенних викидів у повітря, поверхневі і підземні води та ландшафти. Дослідження виконано на основі результатів лабораторних досліджень проб води, шлаку та шламу.

Результати. У межах досліджуваної ділянки водоносного горизонту виявлено та закартовано теплове і хімічне забруднення, а також аномально високий вміст завислих речовин у підземних водах. Найбільш гостро стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками (феноли, нафтопродукти). Унаслідок техногенної діяльності металургійного виробництва змінюються окисно-відновні та лужно-кислотні умови зони аерації, що впливає на її бар'єрні (захисні) властивості: зменшується інтенсивність водної міграції заліза, марганцю та цинку, при цьому збільшується міграційна здатність алюмінію, свинцю та кадмію.

Практична значущість та висновки. У результаті дослідження з'ясовано, що в цілому стан підземних вод на території промайданчика можна охарактеризувати як "відносно задовільну екологічну ситуацію". Металургійне виробництво створює локальний вплив на якість підземних вод, зокрема в межах радіальних відстійників, шламових карт, градієнтів та інших техногенних об'єктів з підвищеним інфільтраційним живленням ґрунтових вод.

Ключові слова: забруднення ґрунтових вод, металургійне виробництво, коефіцієнт концентрації, геоінформаційний аналіз, коефіцієнт водної міграції.

Вступ. На сучасному етапі розвитку техногенезу виїзкову актуальність набуває проблема забруднення ландшафтів, приземного повітря, поверхневих та підземних вод в межах промислових зон урбанізованих територій, де відбувається техногенна еволюція хімічного складу всіх природних компонентів навколишнього середовища. Серед промислових підприємств саме підприємства чорної металургії створюють вирішальний вплив на екологічний стан мегаполісу. Адже вони продукують значні обсяги відходів у рідкому, твердому та газоподібному стані, сумарний об'єм яких перевищує випуск чорних металів у 2–4 рази [11], та виступають потужним джерелом надходження елементів в біосферу. У світовій практиці близько 80 % відходів металургійного виробництва використовуються як вторинні матеріальні ресурси [12], в Україні частка вторинного ресурсокористування не перевищує 10–15 % [9], решта відходів зберігається у відвалах. Складування відходів створює негативний вплив на навколишнє середовище: вилучаються з використання земельні ділянки, відвали виступають потенційним джерелом забруднення атмосфери, ґрунтів, зони аерації, підземних вод тощо [12].

Дослідження впливу металургійного виробництва на підземну гідросферу являє собою складну комплексну задачу, яка включає виявлення основних забруднюючих речовин, вивчення рівнів їх накопичення та поширення в підземних водах з метою обґрунтування існуючих рівнів екологічного навантаження. Складність зумовлена

динамічністю досліджуваного водного середовища поширення забруднювачів. Різноманітність термодинамічних і фізико-хімічних умов, що формуються у підземних водах під дією комплексу техногенних факторів спричинених безпосередньо діяльністю металургійного підприємства (уповільнення поверхневого стоку, протікання інженерних комунікацій, теплове та хімічне забруднення), еколого-геохімічними особливостями урболандшафту в цілому, визначає істотну строкатість хімічного складу та мінливість концентрацій хімічних показників у часі.

Аналіз матеріалів попередніх досліджень забруднення підземних вод свідчить про те, що з гідрогеохімічних позицій у межах промислових зон урбанізованих територій відбуваються два самостійні явища: забруднення вод існуючих водоносних горизонтів (ВГ), передусім першого від поверхні найменш захищеного від забруднення ґрунтового ВГ, та формування нових техногенних ВГ [8]. Оскільки металургійне виробництво є водоемким: водоспоживання на 1 га площі металургійних заводів становить 1000–10000 м³/добу, або 0,1–1 м водного шару, що до п'яти разів перевищує природне інфільтраційне живлення ґрунтових вод [8]. За даних умов прибуткова частина водного балансу значно перевищує витрату, що веде до техногенно спричинених змін природних еколого-гідрогеологічних умов, передусім на території промайданчика, які супроводжуються формуванням природно-техногенного ВГ. Особливості такої техногенної трансформації розглядалися нами в роботі [10].

Мета та завдання дослідження. Метою даної роботи є вивчення хімічного складу підземних вод природно-техногенного ВГ, що сформувався в межах промайданчика металургійного виробництва Публічного акціонерного товариства "ЄВРАЗ – Дніпровський металургійний завод ім. Петровського" (ПАТ "ЄДМЗ"). Для досягнення мети було поставлено такі завдання дослідження: виявити основні забруднювачі; встановити просторову структуру поля забруднення; класифікувати територію промайданчика за рівнем екологічного навантаження від основних забруднюючих речовин; оцінити міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах.

Методика дослідження. Концептуальне положення методики досліджень базувалось на ролі верхньої зони геологічного середовища (ненасиченої зони або зони аерації) як головного "акумуляційного депо" більшості техногенних викидів у повітря, поверхневі і підземні води та ландшафти. Тому вивчення умов формування хімічного складу підземних вод техногенного водоносного горизонту в межах промайданчика металургійного виробництва здійснювалося на основі результатів лабораторних досліджень проб води, шлаку та шламу, що відбиралися у процесі моніторингу 2010–2014 рр. та при цільовому обстеженні спостережних свердловин у 2014 р. Аналіз хімічного складу води, валового вмісту та вмісту рухомих форм важких металів, арсену і алюмінію у пробах шлаку і шламу виконувався в лабораторії хіміко-аналітичних досліджень відділу аналітичних досліджень та організації моніторингу Українського наукового центру екології моря Міністерства екології та природних ресурсів України. Хімічний склад проб шлаку, шламу та зависі підземних вод досліджено методом силікатного аналізу в лабораторії аналітичної хімії відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України.

Оскільки підземні води не мають безпосереднього контакту з джерелом забруднення (металургійне виробництво) і його вплив здійснюється через складні фізико-хімічні взаємодії в системі "ґрунт – породи зони ненасиченої фільтрації – ґрунтові води", то кількісна оцінка

впливу і стану підземної гідросфери виконувалась із використанням спеціальних індексів і коефіцієнтів.

Для визначення елементів-забруднювачів, що надходять у підземні води внаслідок діяльності металургійного виробництва, застосовувався традиційний для геохімії підхід, а саме порівняння хімічного складу досліджуваного об'єкта з природним фоном. Показником рівня накопичення елемента-забруднювача у підземних водах промайданчика слугував коефіцієнт аномальності (коефіцієнт концентрації $K_c = C/C_\phi$) – відношення середнього значення концентрації елемента в досліджуваному об'єкті до середнього фонового його вмісту [7]. Як природний фон було взято хімічний склад ґрунтових вод, відібраних з криниці Сухачівського лісопарку, яка розташована на відстані 10 км у західному напрямку від досліджуваного майданчика металургійного виробництва.

Просторова структура поля забруднення підземних вод досліджувалась методом геоінформаційного аналізу і застосуванням аналітичного модуля Spatial Analyst програми ArcGIS 9.2. Для побудови цифрових поверхонь просторового розподілу показників забруднення підземних вод досліджуваної території було підібрано такі параметри апроксимації: метод апроксимації зворотно зв'язаних відстаней; радіус впливу – змінний; кількість точок впливу – 12; ступінь – 4.

Оцінку рівня екологічного навантаження на підземні води, які не використовуються для господарсько-питного водопостачання, на ділянках господарських об'єктів виконано згідно з науково-технічними розробками та методичними рекомендаціями [1, 2, 4]. Критеріями такої оцінки є площа поля забруднення нітратами, фенолами, важкими металами, СПАР (синтетичними поверхнево-активними речовинами), нафтопродуктами у кратності гранично допустимих концентрацій (табл. 1). У даному випадку під полем забруднення будемо розуміти частину ВГ, обмежену аналітично обґрунтованою лінією перевищення гранично допустимої концентрації забруднюючої речовини [2].

Таблиця 1

Критерії оцінки ступеня забруднення підземних вод для ділянок господарських об'єктів [2, 4]

Показники	Катастрофічна екологічна ситуація	Надзвичайна екологічна ситуація	Напружена екологічна ситуація	Відносно задовільна екологічна ситуація
Вміст забруднюючих речовин, кратність ГДК	Понад 100	10–100	5–10	3–5
Мінералізація, г/дм ³	Понад 100	10–100	3–10	Менше 3
Площа забруднення, км ²	Понад 8	3–8	0,5–3	Менше 0,5

Для оцінки міграційних властивостей хімічних елементів у підземних водах використано розрахунковий метод. Показником міграційної здатності елемента у підземних водах виступає коефіцієнт водної міграції, розрахований за О. Перельманом [6]:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x},$$

де m_x – вміст елемента в підземних водах, мг/дм³; n_x – вміст того ж елемента у водовмісних породах, %; a – сухий залишок, мг/дм³.

Обговорення результатів. Дослідження виконані для території майданчика металургійного виробництва ПАТ "ЄДМЗ" у м. Дніпро, де ведуться спостереження за станом ґрунтових вод по мережі моніторингових свердловин, організований на території заводу в 1973 р. Моніторингова мережа складається з 11 свердловин, пробурених на водоносний горизонт у четвертинних алювіальних відкладах перших надзаплавних терас. У природних гідрогеологічних умовах ВГ четвертинних алювіальних відкладів характеризувався наступними особливостями.

Водовмісні породи представлені пісками глинистими, тонкозернистими до пілуватих. ВГ безнапірний. Живлення ґрунтових вод відбувалось за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та латерального притоку з гіпсометрично вищих ділянок, розвантаження – у р. Дніпро та невеличкі потічки.

Складування шлаків та їхнє використання для підсипки території промайданчика з подальшим їх замуленням унаслідок фільтрації шламової пульпи зумовило утворення слабопроникного техногенного шлакомулового шару на покрівлі природних алювіальних утворень. У техногенно змінених еколого-гідрогеологічних умовах з'являється додаткова техногенна складова інфільтраційного живлення ґрунтових вод (підпірний вплив р. Дніпро, перетворення природних дрен-потічків у скидні колектори, значні втрати води з водонесучих комунікацій, а також відстійників заводу) та, відповідно, стрімкий підйом рівня ґрунтових вод (РГВ). Наслідком такого процесу стало обводнення шару техногенних відкладів та формування природно-техногенного ВГ з ризиком погіршення інженерно-

геологічної стійкості підґрунтя потенційно небезпечних об'єктів (домни, прокатний стан та ін.) [10].

Сучасний ґрунтовий ВГ, води якого досліджуються, має складну двошарову будову: природний водонасичений шар та техногенний у шлакомулових відкладах. Його рівень встановився на глибині 5,15–10,56 м (2014 р.) у техногенній товщі. Потужність шару водонасичених техногенних порід в середньому у 1,56 раза перевищує потужність водонасичених алювіальних відкладів. А оскільки провідну роль у формуванні хімічного складу підземних вод відіграє петрогеохімічний склад порід зони аерації та водовмісних порід, то формування переважної частини об'єму ґрунтових вод відбувається під впливом техногенного чинника.

Геохімічні особливості та екологічний стан ґрунтових вод проммайданчика. Вірогідність еколого-гідрогеохімічних оцінок залежить від якості вихідної моніторингової інформації про стан підземних вод. Просторове розташування шлакомулового насипного шару вище фільтрів спостережних свердловин істотно зменшує вірогідність.

Температура. У цілому температура ґрунтових вод у межах території досліджень змінюється від 19 °С до 310С при фоновому значенні для алювіального ВГ 12 °С (табл. 2.). Виконаний аналіз просторово-часових змін гідрогеотермального поля техногенного ВГ за період 2010–2014 рр. (рис. 1.) дозволив встановити підвищення температури підземних вод до 2,5–4 градусів на 90 % території проммайданчика.

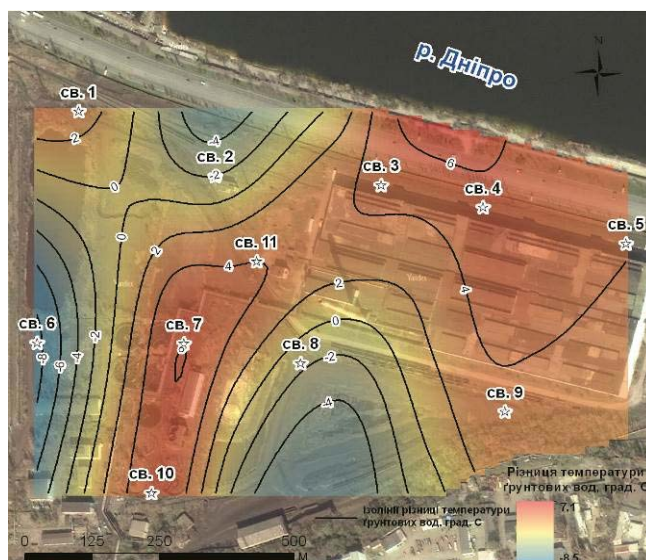


Рис. 1. Зміна температури ґрунтових вод на території металургійного майданчика в період 2010–2014 рр.: зірочками показано місця розташування спостережних свердловин

Часткове зниження температури, за цей період на 8 градусів відбулося західніше градірень, що може бути пов'язано зі зменшенням втрат теплих вод на сусідніх підприємствах. Стійке підвищення температури ґрунтових вод у межах більшої частини проммайданчика металургійного виробництва з 2010 р. супроводжується зростанням втрат води з інженерних мереж в 1,3 раза, на фоні зменшення використання води на виробничі потреби, в середньому на 22 тис. м³/міс (за період 2011–2013 рр.). Отже, аномально високі значення температури ґрунтових вод природно-техногенного ВГ, які майже в два рази перевищують фонові ($K_{сер}=1,9$) зумовлені активнішою інфільтраційним техногенним живленням ВГ внаслідок експлуатації металургійного заводу.

За вмістом *завислих речовин* підземні води проммайданчика вирізняються аномально високими значеннями даного показника порівняно з природним фоном та вимогами щодо мутності для питних вод. Цей показник для територій промислових майданчиків не нормується. Найбільший вміст завислих виявлено у свердловинах центральної частини металургійного майданчика, де розташовані градірні та шламові карти, і може бути спричиненим прискороною фільтрацією шламової пульпи до ВГ. Однак значення даного показника також істотною мірою визначаються станом фільтра свердловини, покривних порід та прифільтрової зони. За хімічним складом завис в воді спостережних свердловин проммайданчика металургійного виробництва відповідає хімічному складу доменних шлаків та дещо збагачена оксидами алюмінію,

заліза і калію, а також збіднена сполуками мангану і кальцію. Це свідчить про активне вимивання дрібнодисперсної фракції шламово-мулових техногенних порід і важкої залізистої фракції зі шламу в процесі експлуатації шламових карт та поводження з відходами.

Водневий показник. Підземні води проммайданчика характеризуються переважно лужною реакцією середовища ($pH = 7,6-10,4$), на відміну, від нейтральної на фоновій ділянці ($pH = 7,1$). Істотна зміна кислотно-основних умов підземних вод може бути зумовлена техногенно спричиненою підвищеною температурою підземних вод (при підвищенні температури >22 °С збільшуються активності іонів H^+ та OH^+ , пришвидшуються реакції гідролізу [3]). При збільшенні температури дисоціація води збільшується та іонний добуток води зростає. При 90 °С $K_w = 10^{-12,4}$, тобто $pH = 6,2$ і кислотно-основна рівновага зсувається в бік кислої реакції середовища. Тому лужність підземних вод у зоні впливу інженерних споруд ПАТ "ЄДМЗ" найімовірніше формується в процесі інфільтрації при взаємодії теплої води з техногенними відкладами зони аерації.

Хімічний склад підземних вод досліджуваного ВГ в основному відповідає макрокомпонентному складу природних вод в алювіальних відкладах. За показниками *сухого залишку, вмісту сульфатів та хлоридів* води відповідають вимогам для питної води та близькі до природних фонових. Діяльність ПАТ "ЄДМЗ" на металургійному виробництві не здійснює впливу на формування забруднення підземних вод цими компонентами.

Таблиця 2

Порівняльна оцінка хімічного складу ґрунтових вод на території майданчику металургійного виробництва ПАТ "ЄДМЗ" з природним фоном та чинними вимогами щодо якості питних підземних вод

Показник	одиниці виміру	Абсолютний вміст у підземних водах			Коефіцієнт аномальності ($K_c = C/C_{\phi}$)	Кратність перевищення ГДК		Категорія екологічної ситуації [2, 4]
		ПАТ "ЄДМЗ" (С)	фон (С _ф)	ГДК [1, 5]		ПАТ "ЄДМЗ" (С/ГДК)	фон (С _ф /ГДК)	
Завислі речовини	мг/дм ³	$\frac{129-25172}{5715,4}$	1,51	2,03	$\frac{85,4-16670,2}{3785}$	$\frac{63,5-12400}{2815,5}$	0,7	Не входять до переліку критеріїв оцінки
pH		$\frac{7,6-10,4}{9,6}$	7,01	6,5-8,5	$\frac{1,1-1,5}{1,4}$	$\frac{0,9-1,2}{1,1}$	0,8	
Температура	°C	$\frac{19-31}{23,1}$	12	—	$\frac{1,6-2,6}{1,9}$	—	—	
БСК-5	мг/дм ³	$\frac{5-57,5}{27,6}$	0,8	3	$\frac{6-68,5}{32,8}$	$\frac{1,7-19,2}{9,2}$	0,3	
ХСК	мгО/дм ³	$\frac{21,6-158}{74,7}$	4,2	30	$\frac{5,1-37,3}{17,6}$	$\frac{0,7-5,3}{2,5}$	0,1	
Нафтовуглеводні	мг/дм ³	$\frac{0,4-1,53}{0,7}$	0,43	0,1	$\frac{0,9-3,6}{1,7}$	$\frac{3,7-15,3}{7,2}$	4,3	Напружена
Сухий залишок	г/дм ³	$\frac{0,3-1}{0,5}$	0,71	1,5	$\frac{0,4-1,4}{0,7}$	$\frac{0,2-0,7}{0,3}$	0,5	Відносно задовільна
Феноли	мкг/дм ³	$\frac{1,7-9,9}{5,2}$	2,19	1	$\frac{0,8-4,5}{2,4}$	$\frac{1,7-9,9}{5,2}$	2,2	Напружена
Сульфати	мг/дм ³	$\frac{41,5-189}{92,4}$	123	500	$\frac{0,3-1,5}{0,8}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	0,2	Відносно задовільна
Хлориди	мг/дм ³	$\frac{58,3-174}{94,5}$	58,4	350	$\frac{0,9-3}{1,6}$	$\frac{0,2-0,5}{0,3}$	0,2	Відносно задовільна
Фосфати	мкг/дм ³	$\frac{57-1383}{422,1}$	583	3500	$\frac{0,1-2,4}{0,7}$	$\frac{0,02-0,4}{0,1}$	0,2	Відносно задовільна
АПАР	мкг/дм ³	$\frac{30,9-372}{129,8}$	3,34	500	$\frac{9,3-111,4}{38,9}$	$\frac{0,06-0,7}{0,3}$	0,007	Відносно задовільна
Fe заг.	мг/дм ³	$\frac{0,4-2,5}{1,2}$	0,03	1	$\frac{14,3-84,3}{41,4}$	$\frac{0,4-2,5}{1,2}$	0,03	Відносно задовільна
Cr заг.	мкг/дм ³	$\frac{2,6-5,7}{3,4}$	9,06	50	$\frac{0,3-0,6}{0,4}$	$\frac{0,05-0,1}{0,07}$	0,2	Відносно задовільна
Zn	мг/дм ³	$\frac{0,01-0,1}{0,02}$	0,068	1	$\frac{0,1-1,5}{0,3}$	$\frac{0,01-0,1}{0,02}$	0,1	Відносно задовільна
Cu	мг/дм ³	0,03	0,03	1	1	0,03	0,03	Відносно задовільна
Mn	мг/дм ³	$\frac{0,1-1,2}{0,4}$	0,04	0,5	$\frac{2,8-30,5}{9,5}$	$\frac{0,2-2,4}{0,8}$	0,08	Відносно задовільна
Ni	мкг/дм ³	$\frac{1-92}{31,7}$	1,04	20	$\frac{1-88,5}{30,5}$	$\frac{0,05-4,6}{1,6}$	0,05	Відносно задовільна
Al	мг/дм ³		0,11	0,5			0,2	Відносно задовільна
Cd	мкг/дм ³		0,17	1			0,2	Відносно задовільна
Pb	мкг/дм ³		1	10			0,1	Відносно задовільна
Co	мкг/дм ³		1,08	100			0,01	Відносно задовільна

За показниками вмісту *фосфатів, поверхнево активних речовин (АПАР), хрому, цинку, міді, свинцю і кобальту* в жодній з відібраних проб підземних вод перевищення ГДК для питної води не виявлено. Середні значення вмісту фосфатів, хрому і цинку перебувають у межах природного фону. Концентрації кобальту та АПАР перевищують фонові, що свідчить про слабе забруднення підземних вод проммайданчика, екологічна ситуація відносно задовільна (табл. 2).

У ґрунтових водах відмічаються локальні підвищення вмісту *нікелю, кадмію, свинцю* (<5 ГДК) та *алюмінію* (>10 ГДК). Просторовий аналіз розподілу концентрацій

перелічених мікроелементів (рис. 2, а, б) свідчить про наявність локальних осередків забруднення води спостережених свердловин № 1, 2, 6, 8, 10, розташованих у зоні впливу градижень та шламових карт. Водночас на більшій частині площі поширення ґрунтових вод проммайданчика концентрації не перевищують ГДК. Виявлене забруднення ґрунтових вод нікелем, кадмієм, свинцем та алюмінієм має техногенний генезис, оскільки природні фонові концентрації даних мікроелементів у прісних підземних водах значно нижчі за ГДК. Джерелами їх надходження є як багаті металами шламопилові відходи металургійного виробництва, так і відходи суміжних підприємств міста,

траси автомобільних та залізничних доріг. Так, у спостережній свердловині № 14, розташованій за межами майданчика металургійного виробництва (на півдні, вгору за потоком ґрунтових вод), пробурений на водоносний горизонт кори вивітрювання і тріщинуватої зони кристалічних

порід, виявлено забруднення підземних вод кадмієм (>5 ГДК) та свинцем (>5 ГДК). У цілому екологічна ситуація в межах проммайданчика металургійного виробництва щодо забруднення підземних вод мікроелементами залишається відносно задовільною.

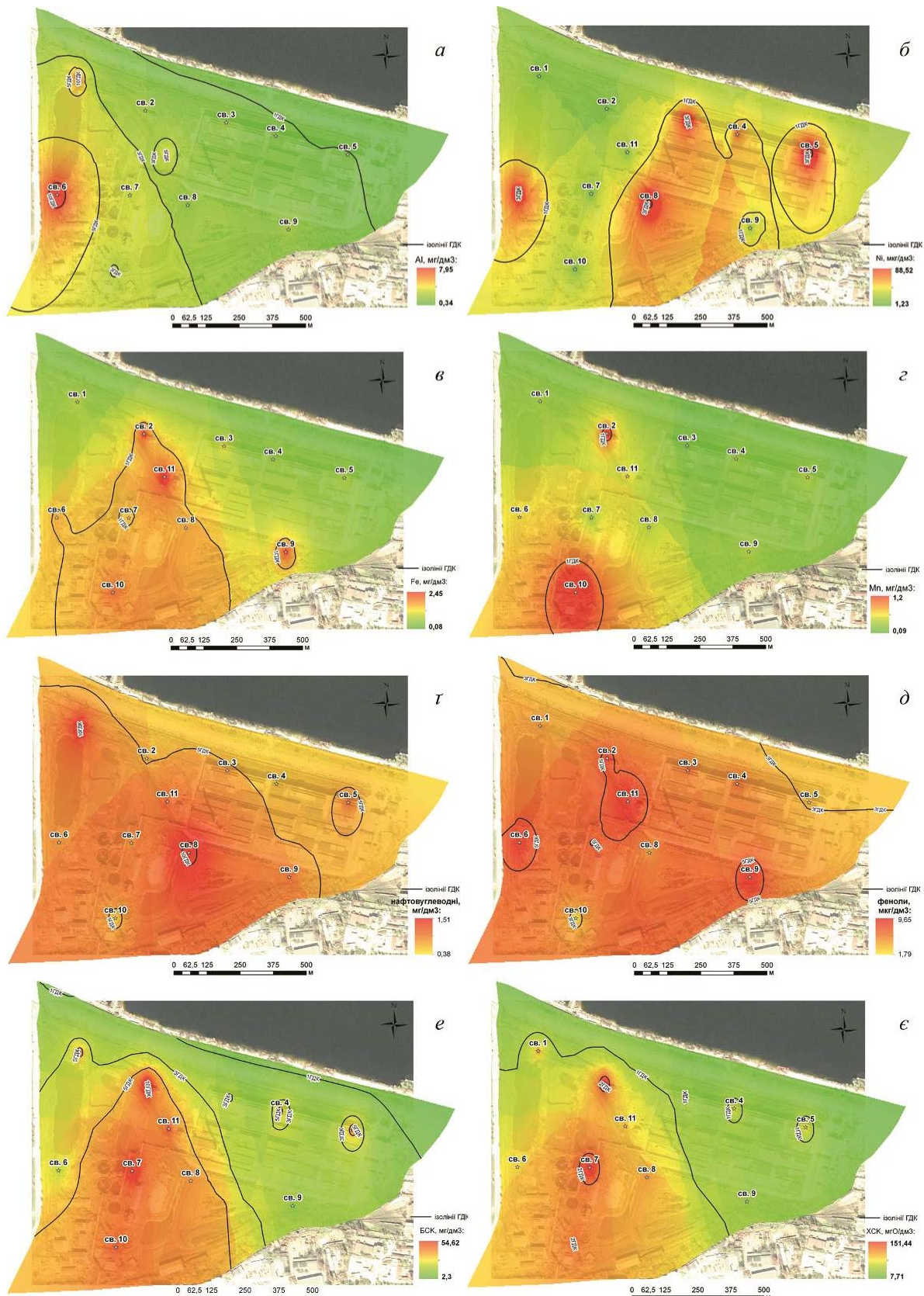


Рис. 2. Вміст забруднюючих речовин у підземних водах у межах металургійного майданчика ПАТ "ЄДМЗ"
(зірочками позначено точки відбору проб зі спостережних свердловин. Кольорова шкала умовна – від найнижчих (зеленим) до найвищих (червоним) величин. Ізолінії кратності перевищення ГДК питної води показано чорним кольором)

Гідрогеохімічні поля концентрацій заліза і марганцю мають аналогічну структуру (рис. 2, в, г) і незначне перевищення ГДК для підземних вод (2,4-2,5 ГДК), що є типовим для елементів, ГДК яких близькі до фонового вмісту. Осередки забруднення підземних вод виявлено в центральній та південній частині проммайданчика, де розташовані радіальні відстійники та шламові карти – локальні скупчення значних мас металів.

Гідроізоляція бортів і днища шламових карт не передбачена, розчинні та колоїдні форми важких металів, що містяться в металургійному шламі, фільтруються через товщу проникного матеріалу підсіпки (шлаку і шламу) на поверхню дзеркала ґрунтових вод, забруднюючи останні. Техногенно сформоване лужне середовище ґрунтових вод сприяє осадженню гідроксидів заліза, меншою мірою – марганцю. Так, на більшій частині площі проммайданчика вміст заліза та марганцю в підземних водах не перевищує ГДК (рис. 2, в, г), що визначає відносно задовільну екологічну ситуацію щодо забруднення підземних вод.

Найбільш гостро для досліджуваної території стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками, передусім нафтовуглеводнями та фенолами. Це відображається показниками хімічного та біохімічного споживання кисню (ХСК та БСК), які дають уявлення про загальний вміст органічних речовин у воді без специфікації їхнього хімічного складу. Просторовий розподіл величин цих показників у підземних водах проммайданчика (рис. 2, е, є) відображає інтегральне забруднення води нафтопродуктами (рис. 2, г) та фенолами (рис. 2, д). Осередками забруднення підземних вод органічними речовинами на майданчику металургійного виробництва є радіальні відстійники, градирні та шламові карти, що в цілому корелює з просторовою інтерпретацією забруднення фенолами та нафтовуглеводнями.

Нафтопродукти у підземних водах мігрують у напрямку зони розвантаження на значні відстані. Ймовірно, що формування гідрогеохімічного поля забруднення підземних вод нафтовуглеводнями у прибережній зоні р. Дніпро великою мірою зумовлено зливом з міських територій: у воді св. № 14, розташованої вище майданчика металургійного виробництва, концентрація нафтопродуктів становить 1,81 мг/дм³ (понад 18 ГДК, встановленої для питної води). У воді фоновій пробі концентрація нафтовуглеводнів становить 0,43 мг/дм³ (понад 4 ГДК). Така ж само концентрація в поверхневій воді р. Дніпро (0,41 мг/дм³). Забруднення підземних вод нафтопродуктами на території металургійного майданчика визначається транспортними потоками, що виявляється в локальному підвищенні концентрації нафтопродуктів (до 10 ГДК) у воді св. № 1, 8 (рис. 2, г).

Фоновий вміст фенолів у підземних водах криниці в Сухачівському лісопарку становить близько 2,2 мг/дм³, що вдвічі перевищує ГДК, встановлену для питної води, та зумовлено природними чинниками. Вміст фенолів у

воді може визначатися метаболізмом гідробіонтів і біохімічною трансформацією органічних речовин. Джерелом надходження фенолів у підземні води є гумінові речовини, що утворюються в ґрунтах і торфовищах. Діяльність ПАТ "ЄДМЗ" на металургійному майданчику, в результаті якої утворюються та скидаються у шламовідстійники та шламонакопичувачі значні обсяги багатих фенолами стічних вод, веде до підвищення вмісту фенолів у підземних водах до рівня 5 ГДК.

Загалом поле забруднення підземних вод нафтопродуктами та фенолами в межах майданчика металургійного виробництва характеризується формуванням напруженої екологічної ситуації (табл. 2), що значною мірою зумовлено чинниками, не пов'язаними з діяльністю ПАТ "ЄДМЗ".

Міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах. Оскільки формування переважної частини об'єму ґрунтових вод досліджуваного природно-техногенного ВГ відбувається під впливом техногенного фактору в товщі водонасичених шлакумолукових порід, то для розрахунку коефіцієнта водної міграції водовмісними породами вважали шлакові відклади.

За даними силікатного аналізу основними компонентами шлаку є CaO (32 %) та SiO₂ (23,1 %). Шлакові відходи на відміну від шламу збіднені оксидом заліза. Його вміст коливається в межах 20 %, що у перерахунку становить 14,5 % заліза.

Аналізуючи вміст важких металів, алюмінію і арсену в пробах доменних шлаків, слід відзначити істотний вміст марганцю та хрому. Вміст рухомих форм забруднювачів надзвичайно високий та сягає 70,5 % для алюмінію, 49,2 % для ртуті, 28,5 % для марганцю; 17,4 % для міді; 13,2 % для нікелю; 12,9 % для цинку; частка рухомих форм решти забруднювачів сягає менше десяти відсотків. Ці дані свідчать про можливість розчинення і вивезення важких металів, зокрема алюмінію, в умовах інтенсивної інфільтрації у підземні води.

Інтенсивність водної міграції забруднювачів у підземних водах було оцінено розрахунковим методом, результати узагальнено в табл. 3. Відповідно до аналітичних даних хімічні елементи утворюють наступний ряд за інтенсивністю водної міграції у підземних водах на території досліджень: Ni > Cu, Cd > Co > Zn > Al > Pb > Fe > Cr > Mn. Отриманий ряд не збігається з рядами міграції металів у природних водах зони гіпергенезу. Значення коефіцієнта водної міграції таких металів, як Al, Cd та Pb мають більший порядок для території проммайданчика, ніж для підземних вод зони гіпергенезу (табл. 3.). Це свідчить про інтенсивнішу їх міграцію. Цинк та марганець, навпаки, в досліджуваних ґрунтових водах мігрують слабше, ніж у природних умовах. Залізо мігрує хоча і слабо ($K_{Fe}=0,019$), проте інтенсивніше марганцю та хрому, що є нетиповим для природних умов. Алюміній, який дуже слабо мігрує в природних водах зони гіпергенезу, в досліджуваних техногенних умовах характеризується середньою інтенсивністю водної міграції.

Таблиця 3

Коефіцієнти водної міграції хімічних елементів у підземних водах

Метали	Коефіцієнт водної міграції, K_x		Інтенсивність міграції	
	ґрунтові води проммайданчика	підземні води зони гіпергенезу (за О. Перельманом) [6]	ґрунтові води проммайданчика	підземні води зони гіпергенезу [6]
Cr	0,012	< 0,0n	слабка та дуже слабка	слабка та дуже слабка
Zn*	0,4	n – n'10	середня	сильна
Cu	3	0,n – n	середня	середня
Mn*	0,004	0,n – n	слабка та дуже слабка	середня
Ni	9,7	0,n – n	середня	середня
Al*	0,36	< 0,0n	середня	слабка та дуже слабка
Cd*	3	< 0,0n	сильна	слабка та дуже слабка
Pb*	0,3	< 0,0n	середня	слабка та дуже слабка
Co	1,55	0,n – n	середня	середня
Fe	0,019	< 0,0n	слабка та дуже слабка	слабка та дуже слабка

*напівжирним шрифтом виділені елементи міграційні властивості який у підземних водах проммайданчика не співпадають з природними.

Отримані результати підтверджують істотний вплив техногенної складової на формування хімічного складу підземних вод досліджуваної території, зокрема наявність значних фільтраційних втрат технологічних вод та інтенсивна інфільтрація через дно шламових карт змінюють природні лужно-кислотні та окисно-відновні умови зони гіпергенезу та, відповідно, умови міграції хімічних елементів у ґрунтових водах.

Висновки. Просторова і кількісна оцінка техногенних потоків забруднюючих речовин у підземних водах, зумовлених діяльністю металургійного виробництва, є важливим першочерговим етапом екологічних досліджень, спрямованих на вивчення взаємодії між твердими (ґрунти), рідкими (поверхневі та підземні води) та газоподібними (приземний шар атмосфери) складовими навколишнього природного середовища, що знаходяться в зоні впливу від одного й того ж техногенного джерела. Виконані дослідження дозволили отримати нові відомості про хімічний склад ґрунтових вод, міграційні властивості хімічних елементів у підземних водах та оцінити екологічний стан природно-техногенного ВГ на території майданчику металургійного виробництва – найбільш небезпечній з екологічних позицій "ближній" зоні забруднень, зумовлених діяльністю Дніпровського металургійного заводу.

У цілому стан підземних вод на території промайданчика можна охарактеризувати як "відносно задовільну екологічну ситуацію", що значною мірою зумовлено сорбційно-захисною здатністю верхньої зони геологічного середовища (ґрунти, породи зони аерації).

Встановлено наявність теплового та хімічного забруднення, а також аномально високий вміст завислих речовин у підземних водах. Основними показниками хімічного забруднення підземних вод є вміст АПАР, нікелю, кадмію, свинцю, алюмінію, заліза, марганцю та ін. Найбільш гостро стоїть проблема забруднення ґрунтових вод органічними сполуками (феноли, нафтопродукти). При цьому негативний вплив промислової діяльності ПАТ "ЄДМЗ" визначається локальним забрудненням підземних вод фенолами в зоні впливу шламових карт та місця зберігання відходів шламу, що створює "напружену екологічну ситуацію". Основні джерела забруднення підземних і поверхневих вод нафтопродуктами, які зумовлюють "напружену екологічну ситуацію", найімовірніше, розташовані за межами промислового майданчика ПАТ "ЄДМЗ".

Унаслідок техногенної діяльності металургійного виробництва змінюються окисно-відновні та лужно-кислотні умови зони аерації, що впливає на її бар'єрні (захисні) властивості: зменшується інтенсивність водної міграції заліза, марганцю та цинку, при цьому збільшується міграційна здатність алюмінію, свинцю та кадмію.

Подяки. Робота виконана за фінансової підтримки Незалежного інституту судових експертиз: www.nice.com.ua. Автори щиро вдячні колективам лабораторії хіміко-аналітичних досліджень відділу аналітичних досліджень та організації моніторингу Українського наукового центру екології моря Міністерства екології та природних ресурсів України під керівництвом чл.-кор. МАНЕБ Ю.М. Деньги та лабораторії аналітичної хімії відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України під керівництвом доктора хім. наук А.І. Самчука за допомогу в отриманні аналітичних даних.

Список використаних джерел

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: державні санітарні норми та правила (ДСанПін 2.2.4-171-10): затв. Наказом МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Уведено в дію 01.07.2010 № 452/17747. Із змінами від 15.08.2011 № 505. – 51 с.
2. Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В. М. Гольдберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
3. Крайнов С.Р. Гидрогеохимия: учебник для вузов / С. Р. Крайнов, В. М. Шве́ц. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: методика. – М.: НЦПИ, 1992. – 54 с.
5. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту) [Затв. Міністерства аграрної політики та продовольства України 30.07.2012 № 471] // Офіц. вісн. України від 10.09.2012. – 2012. – № 66. – 39 с. (ст. 2714, код акту 63236/2012).
6. Перельман А.И. Геохимия: учеб. для геол. спец. вузов / А. И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.
7. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Са́ет, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
8. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф. И. Тютюнова. – М.: Наука, 1987. – 335 с.
9. Шатоха В. И. Вторичные ресурсы металлургии / В. И. Шатоха, С. И. Пинчук. – Днепропетровск: РИА "Днепр-VAL", 2009. – 338 с.
10. Техногенна еволюція еколого-гідрогеологічних умов унаслідок складування відходів металургійного виробництва / О. В. Щербак, Г. Г. Пампуха, С. В. Мещеряков та ін. // Гідрогеологія: наука, освіта, практика: матеріали III наук. конф. (м. Харків, 2-4 листопада 2016 р.). – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – С. 135–138.
11. Экология города: коллектив авторов. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
12. Cirtina D. Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality / D. Cirtina, E. Traista // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2014. – №49, (3). – P. 311–315.

References

1. Hiihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu: derzhavni sanitarni normy ta pravyla (DSanPin 2.2.4-171-10). (2011). [Zatv. Nakazom MOZ Ukrainy vid 12.05.2010 no. 400. Uvedeno v diu 01.07.2010 no. 452/17747]. Iz zminy vid 15.08.2011, 505, 51 p. [in Ukrainian].
2. Gol'dberg, V. M. (1987). Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy. L.: Gidrometeizdat, 248 p. [in Russian].
3. Krainov, S. R., Shvets, V. M. (1992). Gidrogeokhimiya: uchebnik dlya vuzov. M.: Nedra, 463 p. [in Russian].
4. Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya: metodika. (1992). M.: SCL, 54 p. [in Russian].
5. Normatyvy ekolohichnoi bezpeky vodnykh ob'ektiv, shcho vykorystovuiutsia dlia potreb rybnogo hospodarstva, shchodo hranychno dopustymykh kontsentratsii orhanichnykh ta mineralnykh rehovyn u morskykh ta prysnykh vodakh (biokhimichnoho spozhyvannia kysniu (BSK-5), khimichnoho spozhyvannia kysniu (KhSK), zavyslykh rehovyn ta amoniinoho azotu) (2012). [Zatv. Ministerstva aharnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy 30.07.2012, 471]. Ofitsiyni visnyk Ukrainy vid 10.09.2012, 66, 39 p. (article 2714, kod aktu 63236/2012) [in Ukrainian].
6. Perel'man, A. I. (1989). Geokhimiya: ucheb. dlya geol. spets. vuzov. M.: Vyssh. shk., 528 p. [in Russian].
7. Saet, Yu. E., Revich, B. A., Yanin, E. P. et al. (1990). Geokhimiya okruzhayushchey sredy. M.: Nedra, 335 p. [in Russian].
8. Tyutyunova, F. I. (1987). Gidrogeokhimiya tekhnogeneza. M.: Nauka, 335 p. [in Russian].
9. Shatokha, V. I., Pinchuk, S. I. (2009). Vtorichnye resursy metallurgii. Dnepropetrovsk: RIA "Dnepr-VAL", 338 p. [in Russian].
10. Shcherbak, O.V., Pampukha, H.H., Meshcheriakov, S.V., Yakovlev, E.O., Dolin, V.V. (2016). Tekhnohenna evoliutsiia ekoloho-hidroheolohichnykh umov unaslidok skladuvannya vidkhodiv metalurhiinoho vyrobnytstva. Hidroheolohiia: nauka, osvita, praktyka: materialy III naukovo konferentsii (m. Kharkiv, 2-4 lystopada 2016). Kh.: KhNU imeni V. N. Karazina, 135-138. [in Ukrainian].
11. Ekologiya goroda: kolektiv avtorov (2004). M.: Nauchnyy mir. 624 p. [in Russian].
12. Cirtina, D., Traista, E. (2014). Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49 (3), 311-315. [in English].

Надійшла до редколегії 21.08.17

V. Dolin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: vdolin@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine
E. Yakovlev, Dr. Sci.(Tech.), Senior researcher
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua
O. Shcherbak, Cand. Sci. (Geol.), Researcher
E-mail: scherbak_olesia@ukr.net
S. Meshcheryakov, PhD student
E-mail: mescheriakov@mail.ua
State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine"
34a Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine
G. Pampukha, President
E-mail: secretary@chea-taic.be
European Arbitration Chamber
146 Louise Ave., Brussels, Belgium

MAIN FORMATION FACTORS OF GROUNDWATER CONTAMINATION FIELD UNDER THE INFLUENCE OF METALLURGICAL PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF DNIEPER METALLURGICAL PLANT)

Purpose. Exploring the chemical composition of groundwater of natural and technogenic aquifer, formed within the area of metallurgical production of the Dnieper metallurgical plant. Objectives of the research: to identify the main pollutants of groundwater; establish the spatial structure of the field of pollution; classify the industrial site in terms of the environmental load of the main pollutants; estimate the migration properties of chemical elements in groundwater.

Design/methodology/approach. Conceptual provision of research methodology was based on the role of the upper zone of the geological media (unsaturated zone or zone of aeration) as the main "accumulating depot" for the majority of anthropogenic emissions into the air, surface water, groundwater and terrain. The study was carried out on the laboratory results of water samples, slag and sludge.

Findings. Thermal and chemical contamination, and abnormally high content of suspended solids in groundwater were detected and mapped within the investigated site of aquifer. Groundwater contamination by organic compounds (phenols, petroleum products) is the most acute problem. The study tested, as a result of technogenic activity of metallurgical production, the redox and the acid-alkaline conditions of unsaturated zone changed, which affects its barrier (protective) properties, decreasing the intensity of water migration of iron, manganese and zinc, with increased migration capacity of aluminum, lead and cadmium.

Practical value/implications. As a result of research, it was established the overall state of the groundwater at the industrial site can be described as "relatively satisfactory environmental situation". Metallurgical production impacted on groundwater quality locally, particularly within the radial sedimentation tanks, sludge cards, coolers and other industrial units within unsaturated zone of geological media.

Keywords: groundwater contamination, metallurgical production, concentration coefficient, GIS analysis, water migration coefficient.

В. Долин, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vdolin@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
Е. Яковлев, д-р тех. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua;
О. Щербак, канд. геол. наук, науч. сотруд.
E-mail: scherbak_olesia@ukr.net;
С. Мещеряков, асп.
E-mail: mescheriakov@mail.ua
ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины"
пр. Акад. Палладина, 34а, г. Киев, 03680, Украина
Г. Пампуха, президент
E-mail: secretary@chea-taic.be
Европейская арбитражная палата,
Ave. Louise, 146, Brussels, Belgium

ВЕДУЩИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА)

Цель и задачи. Изучение химического состава подземных вод природно-техногенного водоносного горизонта, который сформировался в пределах площадки металлургического производства Днепропетровского металлургического завода. Задачи исследования: выявить основные загрязнители подземных вод; установить пространственную структуру поля загрязнения; классифицировать территорию промплощадки по уровню экологической нагрузки от основных загрязняющих веществ; оценить миграционные свойства химических элементов в подземных водах.

Методика. Концептуальное положение методики исследований базировалось на роли верхней зоны геологической среды (ненасыщенной зоны или зоны аэрации) как главного "аккумулирующего депо" большинства техногенных выбросов в атмосферу, поверхностные и подземные воды и ландшафты. Исследование выполнено на основе результатов лабораторных исследований проб воды, шлака и шлама.

Результаты. В пределах исследуемого участка водоносного горизонта обнаружено и закартировано тепловое и химическое загрязнение, а также аномально высокое содержание взвешенных веществ в подземных водах. Наиболее остро стоит проблема загрязнения грунтовых вод органическими соединениями (фенолы, нефтепродукты). В результате техногенной деятельности металлургического производства изменяются окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия зоны аэрации, что влияет на ее барьерные (защитные) свойства: уменьшается интенсивность водной миграции железа, марганца и цинка, при этом увеличивается миграционная способность алюминия, свинца и кадмия.

Практическая значимость и выводы. В результате исследования установлено, что в целом состояние подземных вод на территории промплощадки можно охарактеризовать как "относительно удовлетворительную экологическую ситуацию". Металлургическое производство создает локальное воздействие на качество подземных вод, в том числе в пределах радиальных отстойников, шламовых карт, градирен и других техногенных объектов с повышенным инфильтрационным питанием грунтовых вод.

Ключевые слова: загрязнение грунтовых вод, металлургическое производство, коэффициент концентрации, геоинформационный анализ, коэффициент водной миграции.

УДК 551.131

Э. Кузьменко, д-р геол.-минералог. наук, проф.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com

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

Е. Яковлев, д-р техн. наук, глав. науч. сотруд.

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины
бул. Чоколовский, 13, г. Киев, 03186, Украина

Л. Давыбида, канд. геол. наук

E-mail: davybida61085@gmail.com

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

В. Зинченко, исполн. 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, начальник Киевской гидрогеологической экспедиции

E-mail: office@ukrgeol.com

ГП "Украинская геологическая компания", пер. Геофизиков, 10, г. Киев, 02088, Украина

СКВАЖИННЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭКЗОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СКЛОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, проф. О.Е. Кошляковым)

В качестве объекта исследований рассматривается территория урочища Межигорье на Правобережье Киевского водохранилища, для которой характерно развитие различных опасных экзогенных геологических процессов, в первую очередь – оползней и подтопления.

Целью исследований является обоснование способа искусственного снижения уровня грунтовых вод на подтапливаемых объектах территории урочища Межигорье с соответствующим снижением риска оползневой активности.

В ходе исследований был проведен анализ общих и специфических факторов активизации оползнеобразования в урочище Межигорье, доказавший, что большинство этих факторов связаны с природными и техногенно-нарушенными гидрогеологическими условиями территории исследований.

Авторами определены источники техногенной подпитки, зоны повышенного увлажнения в пределах урочища, а также направления и структура транзита грунтовых вод на территорию Межигорья.

Выполненные исследования и их результаты подтверждают необходимость снижения насыщения водоносных горизонтов и, соответственно, экзогеодинамической активности горных пород. Техническое решение базировалось на бурении скважин вертикального дренажа, соединяющих четвертичный грунтовый водоносный горизонт и обуховско-межигорский горизонт-коллектор. Выполнены гидрогеологические расчеты объема воды суточного дренажа задействованных скважин, который должен был составить около 104 м³/сутки. Для контроля понижения пьезометрического уровня грунтовых вод были задействованы 3 наблюдательные скважины. Контрольные наблюдения уровней подземных вод подтвердили эффективность предложенной схемы, однако в период весеннего подъема 2013 года скважины вертикального дренажа не обеспечили полного перехвата фильтрационного потока. Возможной причиной авторы полагают возрастание гидродинамической нагрузки грунтового водоносного горизонта за счет орошения и утечки из озер.

На последующих этапах исследований представляется целесообразным картирование фильтрационных потоков. Данные, полученные в результате исследования, могут служить основанием для проектирования комплекса решений для осушения водоносного горизонта и противооползневых мероприятий на территории урочища Межигорье.

Ключевые слова: факторы активизации оползнеобразования, подтопление, снижение уровней грунтовых вод, вентурискважинный переток.

Актуальность вопроса. Анализ литературных данных. В теории и практике исследования экзогенных геологических процессов (ЭГП) доминирующую роль играет вопрос определения факторов, инициирующих ЭГП, и роли факторных природных и техногенных нагрузок в развитии экзогеодинамической активности. Факторы активизации ЭГП [1, 3, 6] традиционно делятся на постоянные (изменяются в течение сотен и более лет), медленно изменяющиеся (в течение десятков лет), быстроизменяющиеся (на протяжении года или нескольких лет). К числу первых относят в основном геологические и геоморфологические; ко второй группе – тектонические, ландшафтные, структурно-тектонические, геофизические, гидрогеологические; и к третьей – метеорологические, гидрологические, сейсмологические.

В работе [6] доказано, что наиболее объективным является комплексный подход к анализу и прогнозированию ЭГП, потому что в общем случае ни один из факторов не является доминантным. Вместе с тем следует заметить, что отдельные факторы, являются обязательными для учета при исследовании любого вида ЭГП. В данной статье речь идет о метеорологических, природных и техногенных гидрологических и гидрогеологических факторах. Комбинированное воздействие указанных факторов ведет к подтоплению территорий, что в

последнее время, особенно в свете глобального потепления, является распространенным явлением как в мировой практике, так и в Украине [2, 9, 10].

Необходимо отметить, что на локальных территориях, где развиты склоновые поверхности, подверженные оползневой опасности, подтопление приводит к активизации следующих факторов оползнеобразования: 1) увеличение веса оползневого тела за счет насыщения водой; 2) смачивание поверхности оползнеобразующего горизонта скольжения и уменьшение сцепления оползневых масс и подстилающих пород; 3) вовлечение в процесс оползнеобразования дополнительных грунтовых масс; 4) изменение угла наклона уровня поверхности грунтовых вод; 5) снижение компрессионных, сдвиговых и других физико-механических свойств. Поэтому актуальным является вопрос искусственного снижения уровня грунтовых вод на подтапливаемых объектах с соответствующим снижением риска экзогеодинамической (в том числе оползневой) активности.

Характеристика объекта исследований. Постановка задачи. В качестве объекта исследований рассматривается территория урочища Межигорье на Правобережье Киевского водохранилища (рис. 1), для которой характерно развитие различных ЭГП: оползней, подтопления, суффозии, локальных просадок.

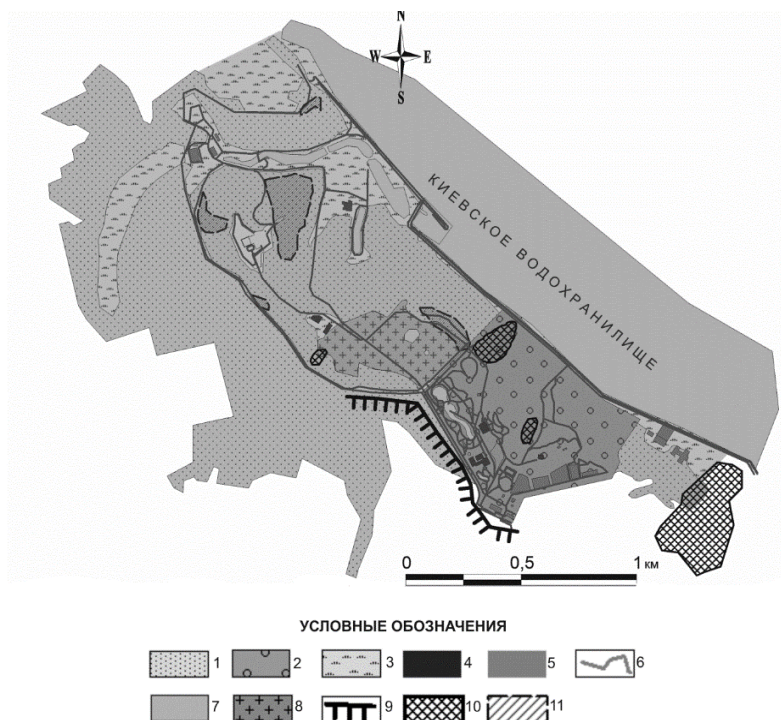


Рис. 1. Схематическая карта урочища Межигорье:

- 1 – лесопарковая зона, 2 – парковый комплекс, 3 – участки с преобладающей луговой растительностью, 4 – дороги, 5 – жилые и административные здания и туристические объекты, 6 – хозяйственные здания и туристические объекты, 7 – природные и искусственные водоемы, 8 – гольф-поле, 9 – территория над погребенным оврагом, 10 – оползни, 11 – территории, представляющие историко-археологическую ценность

Район изысканий находится на территории Киевского Полесья. Урочище Межигорье находится в пределах Вышгородского выступа моренно-зандровой равнины в зоне сочленения северно-восточного склона Украинского щита и юго-западного борта Днепроовско-Донецкой впадины, границей между ними является Киевский разлом Днепроовской разломной зоны. Правый берег Киевского водохранилища на участке Вышгородского выступа расчленен глубокими оврагами и балками. Тут имеют место двухъярусные оползни, что усложняет геомеханическую и инженерно-геологическую структуру. В гидрогеологическом плане территория исследований

расположена в пределах северо-западной части Днепроовского артезианского бассейна, для которого типичным является этажное развитие водоносных горизонтов, разделенных водоупорными слоями.

Детали геологического строения и гидрогеологические условия территории Межигорья достаточно подробно описаны [1, 3–5], поэтому для их характеристики ограничимся представлением геолого-гидрогеологического разреза по участку охватывающему присклоновую часть плато и начало оползневого склона, заимствованного из работы [3], (рис. 2). Расположение профиля указано на рис. 3, который будет описан далее.

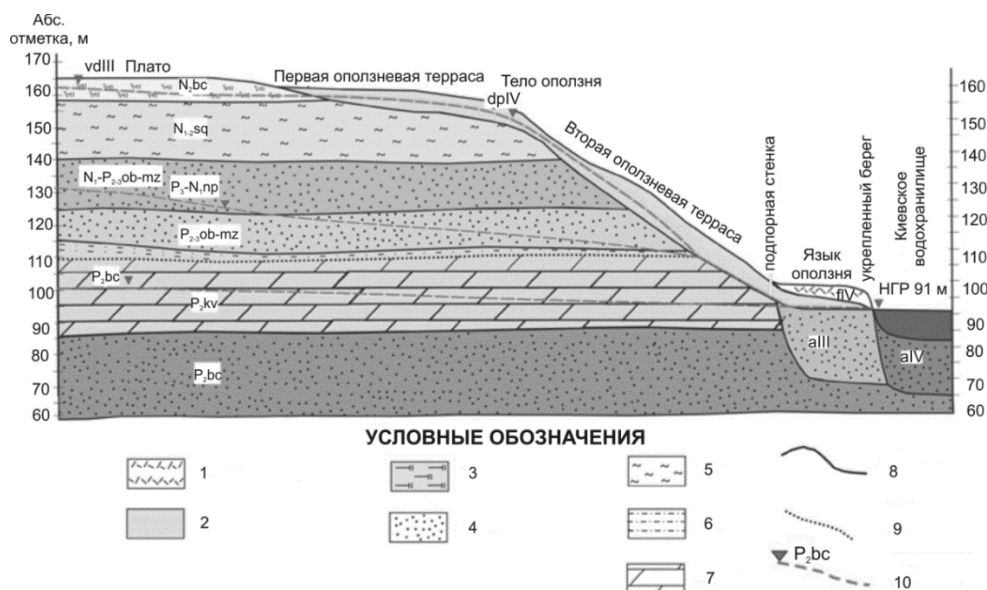


Рис. 2. Типовой геолого-гидрогеологический разрез для исследуемой территории:

- 1 – техногенные грунты, 2 – оползневые почвы, 3 – суглинки, 4 – пески разномерные, 5 – глина, 6 – алеврит, 7 – мергель, 8 – стратиграфические пределы, 9 – литологические пределы, 10 – уровни грунтовых и подземных вод и индексы соответствующих водоносных горизонтов

В соответствие с рис. 2, в верхней части разреза присутствуют водоносный горизонт в ледниковых подморенных флювиогляционных песках четвертичного возраста, имеющий безнапорный режим и активное питание атмосферными осадками и техногенными водами, и водоносный горизонт в песках палеогена, имеющий местами напорный режим. Между ними находится водоупорный горизонт пестроцветных и красно-бурых неогеновых глин, которые при растрескивании могут быть обводнены. По водоносному горизонту четвертичных песков осуществляется в основном транзит грунтовых вод в сторону склона водохранилища с разгрузкой на отметках 156–162 м. Горизонт палеогеновых песков разгружаются на склоне выше отметок киевских водоупорных мергелей, их подстилающих (111–115 м).

В статьях [3, 4] определены источники питания и распределения природной и техногенной составляющих питания грунтового водоносного горизонта в течение периода 2009–2013 гг. Известно, что формирование режима грунтовых вод на территории урочища Межигорье в основном осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод природного и техногенного происхождения непосредственно на объекте исследований, а также инфильтрации их на прилегающих площадях с последующим транзитом на территорию объекта. В частности установлено, что за один год территория Межигорья получала 1632 мм поверхностных вод, из них 650 мм –

природные осадки, 982 мм – техногенные воды (полив, утечки из озер). Основным периодом подтопления является период полива, в течении которого (за полгода) территория получает 1186 мм поверхностных вод, т. е. всего 314 % полугодовой нормы осадков. Оценка величины инфильтрации поверхностных вод за год дает значение 125 мм (при норме для г. Киева и окрестностей обычно 32–45 мм), причем 44 мм приходится на природную составляющую и 81 мм – на техногенную, в том числе 53 мм – за счет полива, а 28 мм – за счет утечки из озер.

В последующие годы условия поверхностного водного питания в основном сохранились, что привело к устойчивому подъему уровней грунтовых вод и подтоплению, а главное – значительному снижению оползневой устойчивости склонов. Например, для участка самого крупного оползня в районе смотровой площадки (рис. 3) расчетное значение коэффициента устойчивости склона снизилось с 1,7 до 0,9, что привело к активизации оползня весной 2013 г. Очередная массовая активизация оползней на Правобережье Киевского водохранилища с учетом гидрометеорологических и техногенных факторов прогнозируется в 2018–2019 гг. [3].

Задачей приведенных исследований является обоснование оригинального способа снижения уровней грунтовых вод и демонстрация реализации принятых решений на территории урочища Межигорье с учетом детального геологического и гидрогеологического анализа.

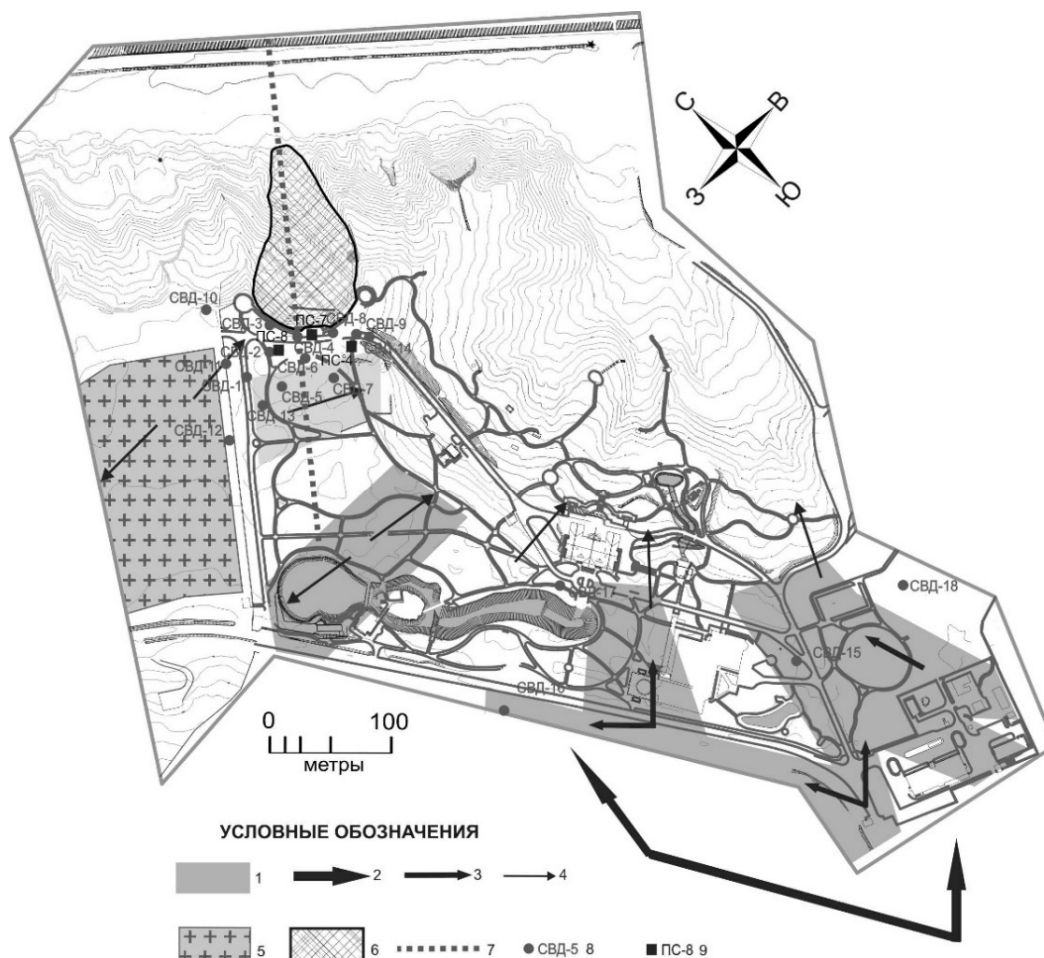


Рис. 3. Схема транзита грунтовых вод для исследуемой территории, а также расположение скважин вертикального дренажа и наблюдательных скважин:

1 – зоны повышенного увлажнения, 2 – направление регионального потока грунтовых вод на территорию Межигорья с периферии (транзит 1-го порядка), 3 – пути транзита грунтовых вод 2-го порядка, 4 – пути транзита грунтовых вод 3-го порядка, 5 – гольф-поле, 6 – оползень, сошедший весной 2013 г. в районе "Смотровой площадки", 7 – линия гидрогеологического разреза, 8 – скважины вертикального дренажа (2012 г.), 9 – пьезометрические скважины (2012 г.)

Факторы изменения гидродинамических и инженерно-геологических условий как основа природно-техногенной экзогеодинамической активизации. Сложный комплекс геологических и гидрогеологических условий территории урочища Межигорье формирует факторы неустойчивости водно-физических параметров и соответственно уменьшения устойчивости породного массива как в природных, так и техногенных (строительство, планирование и т. п.) условиях.

Повышенная способность к оползнеобразованию в природных и техногенных условиях территории исследований связана с действием ряда общих и специфических факторов.

Факторы природных условий:

1) наличие склоновых форм с критической крутизной откосов ($>18^\circ$) в покровных рыхлых породах флювиогляциального происхождения;

2) повышенная пораженность склонов эрозионными процессами;

3) значительная неоднородность механического состава и водно-физических свойств пород, которые слагают склоновые поверхности.

Факторы техногенных условий:

1) дополнительная геомеханическая нагрузка на головную часть оползня и прилегающую присклоновую территорию вследствие застройки без учета текущих и долгосрочных изменений напряженно-деформированного состояния;

2) замедление поверхностного стока вследствие планирования территорий и барьерного влияния сооружений;

3) уменьшение испарения влаги из зоны аэрации при асфальтировании, под сооружениями, при поливах и др.;

4) увеличение питания грунтового водоносного горизонта и увлажнение глинисто-супесчано-песчаных пород зоны аэрации вследствие полива территории, утрат воды из водопроводно-канализационных и теплоэнергетических коммуникаций, а также утечек из поверхностных водоемов;

5) увеличение гидродинамического давления на склоновые поверхности вследствие техногенного подъема уровня грунтовых вод;

6) активизация процессов механической и химической суффозии с последующим уменьшением плотности породного массива и его противооползневой стойкости.

Приведенные факты и гипотезы еще раз подтверждают необходимость поисков решения о снижении насыщения водоносных горизонтов и соответственно экзогеодинамической активности горных пород на территории Межигорья.

Площадная дифференциация обводненности лесовосуглинякового плато Межигорья. Детальное изучение верхней части разреза территории урочища Межигорье позволяет судить о его вертикальной и горизонтальной неоднородности. Для водоносного горизонта грунтовых вод эта неоднородность проявляется как в литологической дифференциации (частичный переход песков в супеси и суглинки), так и в изменении его мощности от первых метров до более чем десяти метров. В связи с этим зоны повышенного увлажнения играют роль транзитных.

В статье [4] определены направления и структура регионального транзита грунтовых вод на территорию Межигорья с периферии (транзит 1-го порядка). Под транзитом 2-го порядка следует понимать локальные деформации движения подземных вод, на которые разделяется региональный поток 1-го порядка доминирующего северного направления. Его составляющими являются грунтовые потоки 2-го порядка по породам погребенных оврагов

северо-западного и северо-восточного направления, а также по ложу углубления в кровле неогеновых глин с разгрузкой северо-западнее административно-жилого здания (рис. 3) на склонах и в тальвеге засыпанного оврага, как локальной дрены. Потоки 3-го порядка формируются на гольф-поле и в парковой зоне в полосе между каскадом верхнего и нижнего озер и склоном Киевского водохранилища за счет инфильтрации поверхностных вод природных осадков и полива, за счет утечек из озер на территории гольф-поля и парковой зоны, а также (в некоторой степени) за счет вод потоков 2-го порядка.

Скважинный вертикальный дренаж. В связи с избыточным увлажнением территории урочища Межигорье и соответствующей активизацией ее природно-техногенного подтопления была поставлена задача выбора мероприятий по снижению уровня грунтовых вод. Оптимальной была признана идея организации скважинного вертикального дренажа. Опыт использования подобной схемы для гидрогеологических разрезов изложен в работах [7, 8].

Для конкретных условий территории исследований схема перетока изображена на рис. 4. Рис. 4, а отображает схематический гидрогеологический разрез с обозначением уровней подземных вод. На рис. 4, б приведена расходограмма, а на рис. 4, в – распределение уровней подземных вод и депрессионных воронок во время природного процесса "откачки" из верхнего горизонта и "налива" в нижний.

В условиях установившегося гидрогеологического режима для каждого водоносного горизонта справедливы классические формулы Дюпюи для совершенных скважин:

$$(km)_1 = 0,366Q_1 \lg \left(\frac{R_1}{r_1} \right) \frac{1}{S_1}; \quad (1)$$

$$(km)_2 = 0,366Q_2 \lg \left(\frac{R_2}{r_2} \right) \frac{1}{S_2}, \quad (2)$$

где $(km)_1$ и $(km)_2$ – водопроводимость для I и II горизонтов, $Q_1 = Q_2$ – дебит перетока; R_1 – радиус влияния (депрессии), r_1 и r_2 – радиус скважины напротив I и II "взаимодействующих горизонтов", S_1 и S_2 – понижение (повышение) уровня для I и II пласта (показано на рис. 4).

В нашем варианте $r_1 = r_2 = r$. Часто принимают $\lg \left(\frac{R_1}{r} \right) \approx \lg \left(\frac{R_2}{r} \right)$ тогда при делении формул одна на другую получим

$$\frac{(km)_1}{(km)_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (3)$$

Гидрогеофильтрационный расчет дренажного узла осуществлен в соответствии с нижеследующим алгоритмом:

1. Средневзвешенная величина коэффициента фильтрации мелкозернистых песков низкой степени водонасыщения (физическая основа грунтового водоносного горизонта (ГрВД) и плоской дрены вышележающих суглинков) $K_{\text{гп}} = 0,5$ м/сутки.

2. Мощность (толщина) слоя увлажнения мелкозернистых песков $m_{\text{гп}}$ вместе с капиллярной каймой $h_{\text{кап}}$ составляет $H = m_{\text{гп}} + h_{\text{кап}} = 2,0 + 2,0 = 4,0$ м.

3. Ориентировочное значение радиуса влияния радиальной дрены $R_{\text{др}}$ при полном осушении песчано-суглинистой зоны водонасыщения ГрВД (по зависимости И. Кусакина или Г. Каменского) равно

$$R_{op} = 2H \sqrt{K_{cp} \cdot m_{cp}}. \quad (4)$$

Численные расчеты дают: $R_{op} = 8 \text{ м}$.

Контрольный расчет влияния радиальной дрены (расчет радиуса питания R_n) осуществлен из условия обеспечения дренажного стока инфильтрационного питания через весьма слабопроницаемую толщу покровных (перекрывающих) песчано-суглинистых пород:

$$R_n = \frac{m_{cp}}{\sqrt{W_{cp}/K_{cp+c}}}, \quad (5)$$

где W_{cp} – инфильтрационное питание ГрВГ в техногенных условиях (полив площадей, утечки из системы и т. п.), K_{cp+c} – среднее значение коэффициента фильтрации слабопроницаемой грунтовой перекрывающей толщи.

4. В соответствии с приведенными ранее данными $W_{cp} \approx 81 \text{ мм/год} \approx 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м/сутки}$. Значение принимаем равным $5 \cdot 10^{-2} \text{ м/сутки}$. Тогда радиус влияния дренирующего контура в ГрВГ $R_n \approx 27 \text{ м}$. Поскольку R_n превышает R_{op} , то это свидетельствует о стабильном режиме функционирования дренажной депрессии.

Условный дебит высачивания воды из дренирующего контура водопонижающей зоны скважины

$$Q_{op} = 1,36 \cdot K_{cp} H^2 / \lg \frac{R_{op}}{r_{op}}. \quad (6)$$

Рассчитанное значение $Q_{op} \approx 6,8 \text{ м}^3/\text{сутки}$. При расчетах принято $r_{op} = 0,2 \text{ м}$ – радиус дренажного контура скважины в соответствии с ее конструкцией.

5. Условная поглощающая способность слабопроницаемого горизонта обуховско-межигорского водоносного комплекса (без учета влияния гидравлического сопротивления на границе с несовершенным водоупором) с коэффициентом фильтрации $K = 2 \text{ м/сутки}$ с мощностью $m_{nan} = 10 \text{ м}$

$$Q_{полз} \approx (2,73 \cdot K \cdot m_{nan} \cdot S^+) / \lg \left(\frac{R^+}{r_n} \right), \quad (7)$$

где $R^+ \approx 1,5 \sqrt{a \cdot t}$, S^+ – прогнозируемое повышение уровня в интервале поглощения, R^+ – прогнозный радиус депрессии в поглощающем горизонте, r_n – радиус фильтра в интервале поглощения, a – коэффициент пьезопроводности слабонапорного поглощающего горизонта, t – время стабилизации формирования депрессионного купола.

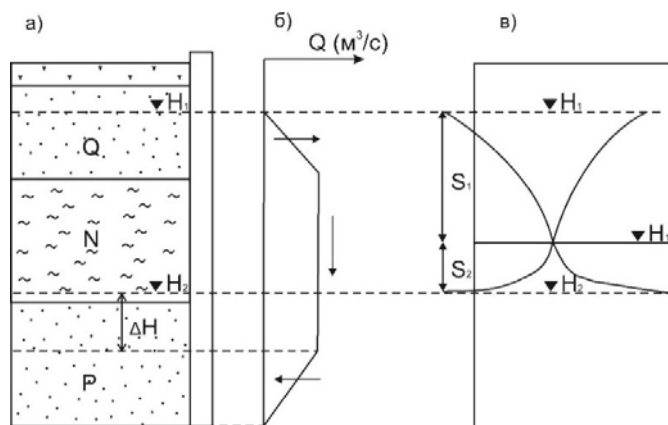


Рис. 4. Схема природного перетока в скважине:

а – схематический гидрогеологический разрез (H_1 – уровень подземных вод четвертичного грунтового водоносного горизонта, H_2 – уровень подземных вод обуховско-межигорского водоносного горизонта, ΔH – разница между уровнями подземных вод до и после вскрытия водоносного горизонта); б – расходограмма (Q – дебит перетока);

в – распределение уровней подземных вод и депрессионных воронок при перетоке (S_1 – понижение уровня для I-го пласта, S_2 – повышение уровня для II-го пласта, H_{12} – отметка установившегося при перетоке уровня)

Из формулы (7)

$$S^+ \approx 0,366 \cdot Q_{полз} \cdot \lg \left(\frac{R^+}{r_n} \right) / K \cdot m_{nan}. \quad (8)$$

По фондовым и экспериментальным данным: $a = 10^3 \text{ м}^2/\text{сутки}$, $t = 1$ сутки, тогда соответственно $R^+ = 50 \text{ м}$. Из формулы (8) следует: $S^+ \approx 0,3 \text{ м}$.

6. Учитывая несовершенный характер проницаемого горизонта в кровле обуховско-межигорского комплекса, по эмпирическим данным наливов его подпор составит 0,3 собственного напора, то есть $0,3 \cdot 8 = 2,4 \text{ м}$. Таким образом, суммарное повышение уровня в зоне обуховско-межигорского горизонта-коллектора составит $S = 0,4 + 2,4 = 2,8 \text{ м}$.

В итоге можно сделать вывод о том, что рассмотренные гидравлические параметры фильтрационных зон дренажного узла "четвертичный грунтовый водоносный горизонт + обуховско-межигорский горизонт-коллектор" способны обеспечить медленный инерционный дренаж.

Бурение скважин вертикального дренажа и их эффективность. Осуществлялось площадное бурение СВД с целью создания площадной депрессии на при-склоновой обводненной территории, а также – бурение одиночных скважин для перехвата основных транзитных фильтрационных потоков.

Типовой разрез скважины представлен моренными отложениями, неогеновыми глинами, отложениями полтавской, харьковской и киевской свит.

Дренаж предусматривался как по схеме "грунтовой горизонт – верхний фильтр – скважина", так и по схеме "грунтовой горизонт – обсыпка – нижний фильтр – скважина". Данная схема позволяет за короткий промежуток времени дренирования остановить инфильтрационный поток, поступающий в четвертичные пески, что особенно важно при интенсивных осадках, и дренировать частично те же пески, а также трещиноватые глины за более длительный период.

Всего было пробурено 18 скважин вертикального дренажа (СВД) (рис. 3). Из них большая часть (13) – на

присклоновой территории участка "Смотровая площадка". Их эффективность можно оценить расчетным путем и на основании режимных наблюдений уровней.

Для простейших условий прямолинейно-параллельного плоского потока, с которым мы с некоторым приближением имеем дело, справедлив линейный закон фильтрации Дарси:

$$Q = K_{\phi} \cdot F \cdot I, \quad (9)$$

где Q – расход потока, м³/сутки; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сутки; F – площадь поперечного сечения потока, м²; I – напорный градиент, равный отношению перепада напора H к длине участка перепада ΔL .

Для участка "Смотровая площадка" K_{ϕ} четвертичного горизонта принят в предыдущих расчетах равным 0,5 м/сутки, мощность горизонта – 4 м, длина полосы вдоль смотровой – 110 м, с учетом флангов примем приблизительно 150 м, тогда фильтрационное сечение ГрВГ $F=150 \cdot 4=600$ м². Напорный градиент по направлению к "Смотровой площадке" меняется от 0,01 ($\Delta H=1$ м для $\Delta L \approx 100$ м) до 0,025 в присклоновой зоне ($\Delta H=0,4$ м для $\Delta L \approx 16$ м). Тогда, в соответствии с формулой (9), $Q=30 \div 75$ м³/сутки. Объем воды суточного дренажа задействованных 13 скважин, исходя из приведенных ранее расчетов, должен составить $13 \times 8=104$ м³/сутки. Таким образом, с теоретической точки зрения основной объем фильтрационного грунтового потока, движущегося к склону, должен быть перехвачен скважинами вертикального дренажа.

Для контроля понижения пьезометрического уровня грунтовых вод на "Смотровой площадке" было задействовано 3 наблюдательных скважины: ПС-4 – из опорной сети, ПС-7, ПС-8 – специально пробуренные (рис. 3).

Графики изменения уровней во времени для наблюдательных скважин представлены на рис. 5.

Ожидаемое понижение уровней по наблюдательным скважинам наблюдалось практически сразу после ввода в эксплуатацию СВД, что отчетливо выражено в первые 4–5 месяцев по ПС-4, 7, 8 (рис. 5). Однако из графиков уровней ПС видно, что СВД не справились полностью с весенним подъемом 2013 г. Интенсивную работу скважинного дренажа подтвердила возросшая активность источников на склоне на гипсометрических отметках, соответствующих обуховскому и межигорскому горизонтам. Тем не менее, обводнение склона привело к активизации оползня на склоне "Смотровой площадки" весной 2013 г.

Таким образом, налицо противоречие: с одной стороны, скважинный дренаж должен быть эффективным, с другой – эффективного перехвата субгоризонтального фильтрационного потока не получено. Авторы статьи полагают, что эта дилемма решена в результате визуальных наблюдений склона в последующие годы. К августу 2015 г., когда осадков не было несколько месяцев, оползень стабилизировался. Примерно по центру "Смотровой площадки", на 10–15 м ниже ее уровня, на склоне наблюдался мощный напорный источник воды с дебитом несколько литров в секунду. Единственной реальной причиной наличия источника может рассматриваться только утечка из озер, уровень в которых в любое время года поддерживался закачкой воды из глубоких водозаборных скважин. Объем такой утечки рассматривался в статье [4] и составляет 151,6 м³/сутки, что является избыточным для СВД. Кроме того, вполне вероятно, что движение озерной воды в породах осуществлялось на подходе к "Смотровой" отдельными руслами интенсивной фильтрации. Далее эти русла объединились в единый поток, который нашел выход в виде источника на склоне.

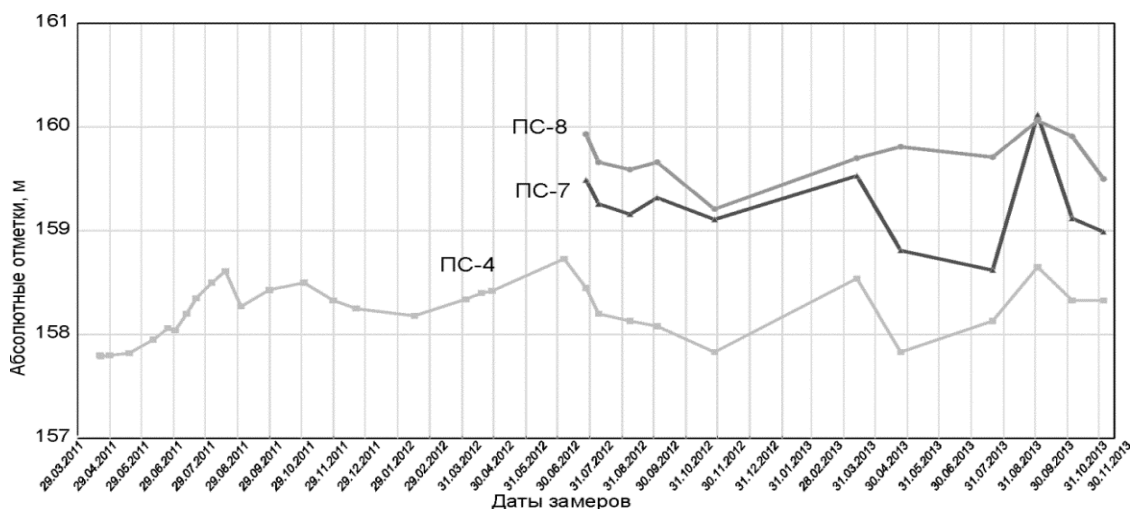


Рис. 5. Графики понижения пьезометрического уровня грунтовых вод в скважинах на "Смотровой площадке"

Для подтверждения данной гипотезы требуется привлечение тривиального комплекса геофизических методов. Далее естественным этапом представляется пересмотр гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории урочища Межигорье с учетом изменившейся природно-техногенной ситуации.

Выводы. Одним из доминирующих факторов экзодинамической активности на склоновых территориях является динамика природно-техногенного водного питания горных пород, которое неизбежно ведет к изменению свойств природного массива и развитию ЭГП. В течение периода интенсивной эксплуатации ландшафтно-архитектурного комплекса Межигорья (2009–2013 гг.),

кроме природных осадков (650 мм), территория глинисто-лессового плато ежегодно получала дополнительно не менее 982 мм техногенных вод.

Специфика гидрогеологических условий геологического разреза Межигорья заключается в наличии в верхней его части грунтового водоносного горизонта четвертичных флювиогляциальных песков. Этот горизонт отделен от второго нижележащего горизонта средне проницаемых палеогеновых песков толщей низкопроницаемых неогеновых глин. Дреной служили прилегающие склоны водохранилища, что обусловило этажное залегание уровней. В связи с техногенным подтоплением территории рассматривалась задача искусственного снижения уро-

вня подземных вод ГрВГ. Техническое решение предполагалось осуществить путем бурения скважин вертикального дренажа, соединяющих два водоносных горизонта и оборудованных фильтрами на их уровнях. Контрольные наблюдения уровней подземных вод и интенсивности источников на склоне водохранилища подтвердили эффективность вертикального дренажа. Вместе с тем полного осушения ГрВГ достичь не удалось.

Питание ГрВГ осуществляется за счет поверхностных природных и техногенных вод (соответственно 650 и 637 мм) и их инфильтрации (соответственно 44 и 43 мм), что почти вдвое превышает годовую норму, а также – за счет непосредственных поступлений в грунт воды утечек из озер. Техногенные воды озер попадают непосредственно в водоносный горизонт в местах утечек и далее фильтруются отдельными потоками, которые объединяются в присклоновой части и разгружаются на склоне мощным напорным источником. Эти потоки скважинами вертикального дренажа перехватываются частично.

На последующих этапах гидрогеологических исследований представляется целесообразным картирование интенсивных фильтрационных потоков, например, геофизическими методами. Полученные данные будут служить основанием для проектирования комплекса решений для осушения водоносного горизонта, возможно, целенаправленным сгущением сети скважин вертикального дренажа в зонах повышенной проницаемости.

Список использованных источников

1. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А. И. Билеуш. – К. : Наук. думка, 2009. – 560 с.
2. Бровко А. Оцінка стійкості стану ґрунтових вод при вивченні техногенного впливу на підземні води (на прикладі ґрунтових вод на території Рівненської АЕС) / А. Бровко, Г. Бровко, О. Кошляков // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2015. – № 2 (69). – С. 75 – 78. doi.org/10.17721/1728-2713.69.12.75-78.
3. Довгостроковий прогноз зсувної активності на території правобережжя Київського водосховища / Е. Д. Кузьменко, І. В. Чепурний, О. О. Нікіташ та ін. // Геодинаміка. – 2012. – № 1 (12). – С. 93 – 102.
4. Избыточное увлажнение как фактор активизации оползней на склонах Киевского водохранилища / Э. Д. Кузьменко, А. П. Никиташ, Е. А. Яковлев та ін. // Геоінформатика. – 2017. – № 1. – С. 51–62.
5. Источники питания и динамика уровней подземных вод на правобережье Киевского водохранилища / Э. Д. Кузьменко, Л. И. Давыбиды, А. П.

Никиташ и др. // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2017. – № 1 (76). – С. 66–75. doi.org/10.17721/1728-2713.76.10.

6. Прогнозування зсувів / Е. Д. Кузьменко, П. В. Блінов, О. П. Вдовина та ін. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. – 601 с.

7. Пургина Д. В. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Камы в городе Перми / Д. В. Пургина, Л. А. Строкова, К. И. Кузеванов // Известия ТПУ. – 2016. – № 1. – С. 110–120.

8. Сологаев В. И. О моделирование геофильтрационных задач при проектировании автомобильных дорог / В. И. Сологаев. // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 2 (24). – С. 64–69.

9. Dynamics of groundwater floodwaves and groundwater flood events in an alluvial aquifer / T. Buffin-Belanger, C. Cloutier, C. Tremblay et al. // Canadian Water Resources Journal. – 2016. – № 41. – P. 469–483.

10. Groundwater flooding within an urbanised flood plain. / D. Macdonald, A. Dixon, A. Newell et al. // Journal of Flood Risk Management. – 2012. – № 5. – P. 68–80. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x

References

1. Bileush, A. (2009). Opolzni i protivopolznevye meropriyatiya. Kyiv: Naukova dumka, 560 p. [in Russian].
2. Brovko, A., Brovko, H., Koshliakov, O. (2015). Otsinka stiihosti stanu gruntovykh vod pry vyvchenni tekhnogennoho vplyvu na pidzemni vody (na prykladi gruntovykh vod na terytorii Rivnenskoï AES). Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 2(69), 75-78. doi.org/10.17721/1728-2713.69.12.75-78 [in Ukrainian].
3. Kuzmenko, E. D., Chepurnyi, I. V., Nikitash, O. O., Shtohryn, L. V. (2012). Dовгостроковий прогноз зсувної активності на території правобережжя Київського водосховища. Geodynamics, 1(12), 93-102. [in Ukrainian].
4. Kuzmenko, E., Nikitash, A., Yakovlev, E., Heruk, Yu. (2017). Izbytochnoe uvlazhnenie kak faktor aktivizatsii opolznei na sklonakh Kievskogo vodokhranilishcha. Geoinformatika, 1, 51-62. [in Russian].
5. Kuzmenko, E., Davybidy, L., Zinchenko, V., Nikitash, A., Yakovlev, E. (2017). Istochniki pitaniia i dinamika urovnei podzemnykh vod na pravoberezhie Kievskogo vodokhranilishcha. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1(76), 66-75. doi.org/10.17721/1728-2713.76.10 [in Ukrainian].
6. Kuzmenko, E., Blinov, P., Vdovyna, O. et al. (2016). Prohnozuvannya zsuiv. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 601 p. [in Ukrainian].
7. Purgina, D. V., Strokova, L. A., Kuzevanov, K. I. (2016). Modelirovanie gidrogeologicheskikh uslovii dlia obosnovaniia protivopolznevnykh meropriiatii na uchastke naberezhnoi reki Kamy v gorode Permi. Izvestiia TPU, 1, 110-120. [in Russian].
8. Sologae, V. I. (2012). O modelirovanie geofiltratsionnykh zadach pri proektirovanii avtomobilnykh dorog. Vestnik SibADI, 2 (24), 64–69. [in Russian].
9. Buffin-Bulanger, T., Cloutier, C., Tremblay, C., Chaillou, G., Larocque, M. (2016). Dynamics of groundwater floodwaves and groundwater flood events in an alluvial aquifer. Canadian Water Resources Journal, 41 (4), 469-483.
10. Macdonald, D., Dixon, A., Newell, A. and Hallways, A. (2012). Groundwater flooding within an urbanised flood plain. Journal of Flood Risk Management, 5, 68–80. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x

Надійшла до редколегії 29.08.17

E. Kuzmenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Institute of Geology and Geophysics
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
E. Yakovlev, Dr. Sci. (Tech.), 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
L. Davybidy, Cand. Sci. (Geol.)
E-mail: davybida61085@gmail.com
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 V. Szymanowski Str., office 114th, Kyiv, 02660, Ukraine
O. Nikitash, Head of the Kiev hydrogeological expedition
E-mail: office@ukrgeol.com
SE "Ukrainian Geological Company"
10 Geophysics Str., Kyiv, 02088, Ukraine

WELL VERTICAL DRAINAGE AS METHOD FOR DECREASING OF EXOGEOLOGICAL ACTIVITY ON SLOPE AREAS

The territory of Mezhyhira on the right bank of the Kiev reservoir, which is characterized by the development of various dangerous exogenous geological processes, primarily landslides and flooding, is being considered as the object of research.

The purpose of the research is to substantiate the method of artificially lowering of groundwater level within the flooded areas of Mezhyhira with a corresponding decrease in risk of landslide activity.

In the course of the research, an analysis of general and specific factors of the activation of landslides within the Mezhyhira area was carried out, and its results proved that most of these factors are related to natural and technogenically disturbed hydrogeological conditions of the research area.

The authors have determined the sources of technogenic feeding, the zones of increased moisture within the natural boundary, as well as the directions and structure of groundwater transit to the territory of Mezhyhirya.

The performed studies and their results confirm the need to reduce the saturation of aquifers and, accordingly, the exo-geodynamic activity of rocks within the territory of Mezhyhirya. The technical solution was based on the drilling of vertical drainage wells connecting the quaternary ground and the Obukhov-Mezhygorsk collector aquifer. Hydrogeological calculations of the water volume of the daily drainage of the involved wells were performed, which must have been about 104 m³/day. Three observation wells were involved for monitoring the decrease in the piezometric level of groundwater. Control observations of groundwater levels confirmed an effectiveness of the proposed scheme; however, during the spring upsurge of 2013, vertical drainage wells did not ensure complete interception of the filtration flow. A possible reason for this is the increase in the hydrodynamic load of the groundwater aquifer due to irrigation and leakage from lakes.

At subsequent stages of research, mapping of filtration flows seems appropriate. The data obtained as a result of the study can serve as the basis for designing a set of solutions for drainage of the aquifer and anti-landslide measures within the territory of Mezhyhirya.

Keywords: activation factors of landslide formation, flooding, lowering of groundwater levels, downhole flow.

Е. Кузьменко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут геології і геофізики, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

Є. Яковлев, д-р техн. наук, голов. наук. співроб.

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

бул. Чоколівський, 13, м. Київ, 03186, Україна

Л. Давибіда, канд. геол. наук

E-mail: davybida61085@gmail.com

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. В. Шимановського, 2/1, офіс 114-а, м. Київ, 02660, Україна

О. Нікіташ, начальник Київської гідрогеологічної експедиції

E-mail: office@ukrgeol.com

ДП "Українська геологічна компанія", пров. Геофізиків, 10, м. Київ, 02088, Україна

СВЕРДЛОВИННИЙ ВЕРТИКАЛЬНИЙ ДРЕНАЖ ЯК СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ЕКЗОГЕОДИНАМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ НА СХИЛОВИХ ТЕРИТОРІЯХ

Як об'єкт досліджень розглядається територія урочища Межигір'я на Правобережжі Київського водосховища, для якої характерний розвиток різних небезпечних екзогенних геологічних процесів, у першу чергу – зсувів і підтоплення.

Метою досліджень є обґрунтування способу штучного зниження рівня ґрунтових вод на підтоплюваних об'єктах території урочища Межигір'я з відповідним зниженням ризику зсувної активності.

У ході досліджень було проведено аналіз загальних і специфічних чинників активізації зсувоутворення в урочищі Межигір'я, який довів, що більшість цих чинників пов'язані з природними і техногенно-порушеними гідрогеологічними умовами території досліджень.

Авторами визначені джерела техногенного підживлення, зони підвищеного зволоження в межах урочища, а також напрямки і структура транзиту ґрунтових вод на територію Межигір'я.

Виконані дослідження та їх результати підтверджують необхідність зниження насичення водоносних горизонтів і відповідно екзо-геодинамічної активності гірських порід. Технічне рішення базувалося на бурінні свердловин вертикального дренажу, що з'єднують четвертинний ґрунтовий водоносний горизонт і обухівсько-межигірський горизонт-колектор. Виконано гідрогеологічні розрахунки об'єму води добового дренажу задіяних свердловин, який повинен був скласти близько 104 м³/добу. Для контролю зниження п'єзометричного рівня ґрунтових вод були задіяні 3 спостережні свердловини. Контрольні спостереження рівнів підземних вод підтвердили ефективність запропонованої схеми, проте в період весняного підйому 2013 р. свердловини вертикального дренажу не забезпечили повного перехоплення фільтраційного потоку. Можливою причиною автори вважають зростання гідродинамічної навантаження ґрунтового водоносного горизонту за рахунок зрошення і витоку з озер.

На наступних етапах досліджень вважається доцільним картування фільтраційних потоків. Дані, отримані в результаті дослідження, можуть служити підставою для проектування комплексу рішень для осушення водоносного горизонту і протизсувних заходів на території урочища Межигір'я.

Ключові слова: фактори активізації зсувоутворення, підтоплення, зниження рівнів ґрунтових вод, внутрішньосвердловинне перетікання.

УДК 556.3:553

О. Любчик, асп.
E-mail: ksuha777ha777@gmail.com
О. Кошляков, д-р геол. наук, проф.
E-mail: kosh@univ.kiev.ua
М. Курило, канд. геол. наук, доц.
E-mail: rika_m@ukr.net

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

РОЗРАХУНОК ДОХОДУ ВЛАСНИКА НАДР (ДЕРЖАВИ) ВІД ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ З ВИДОБУТКУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗГІДНО ІЗ ЗАКОНОДАВСТВОМ УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ

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

Проаналізовано правові аспекти, прямі (адміністративні) та непрямі (економічні) інструменти державного регулювання видобутку підземних вод. Згідно українського законодавства підземні води входять до Переліку корисних копалин загальнодержавного значення, їх видобуток та використання регулюється нормами Водного кодексу України, Кодексом України про надра, а підприємницька діяльність – Податковим кодексом України. У польському законодавстві підземні води (крім лікувальних, розсолів та термальних) до корисних копалин не відносяться і регулюються Законом про воду (Prawo wodne), Законом про охорону навколишнього середовища (Prawo ochrony środowiska) та Законом про податки від доходу фізичних осіб (Ustawa o podatku dochodowym od osób fizycznych).

Досліджено структуру формування доходу власника надр. Згідно із законодавством України вона складається з рентної плати за користування надрами, рентної плати за спеціальне використання підземних вод та податку на прибуток. У польському законодавстві передбачено лише плату за спеціальне використання води та податок на прибуток, а рентна плата за користування надрами від господарської діяльності з видобутку підземних вод (окрім лікувальних, розсолів та термальних) відсутня.

Наукова новизна полягає в дослідженні та порівнянні формування доходу власника надр згідно із законодавством України та Польщі, визначенні його порядку в абсолютних величинах. З'ясовано, що структура платежів за спеціальне використання підземних вод значно відрізняється. Якщо в українському законодавстві ставка податку залежить від адміністративного положення об'єкта, то в польському – від типу споживання води та способу очистки.

Практична значущість роботи полягає в застосуванні результатів дослідження для вдосконалення методів державного регулювання видобутку підземних вод насамперед за допомогою непрямих (економічних) інструментів: здійснення диференціації платежів із врахуванням умов експлуатації запасів підземних вод, їх якості, глибини залягання водоносного горизонту та напрямку використання добutoї води.

Ключові слова: підземні води, Водний кодекс, Кодекс про надра, Податковий кодекс України, дозвіл на спецвдокористування, рентна плата, техніко-економічна оцінка.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В усьому світі спостерігається тренд до більш широкої експлуатації підземних вод. І Україна не є винятком, адже підземні води мають ряд значних переваг перед поверхневими, серед яких – краща якість та економічність водочищення. Проте, зважаючи на вразливість водоносного горизонту, дане питання потребує суворого контролю з боку держави. Основними інструментами регулювання видобутку підземних вод є адміністративні та економічні методи: видача спеціальних дозволів, встановлення рентних платежів та зборів. Якщо в українському законодавстві основна увага фіксується на природоресурсному підході, що спрямований на ефективний видобуток, то в європейському – підземні води розглядаються як невід'ємна частина екосистеми і політика спрямована на їх охорону та раціональне використання.

У ході здійснення євроінтеграційного процесу цікаво звернутися до досвіду сусідніх держав, насамперед – Польщі. Польська Республіка стала повноцінним членом Європейського союзу (надалі – ЄС) у 2004 р., є нашим північно-західним сусідом, з яким налагоджено правові умови розвитку відносин стратегічного партнерства. Окрім цього, правова система України та Польщі належить до однієї правової сім'ї (романо-германської) [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Особливість підземних вод як об'єкта правового врегулювання полягає в тому, що підземні води є невід'ємним компонентом надр, землі, вод, боліт та інших елементів природи. Тому складність правового регулювання використання та охорони підземних вод полягає в необхідності застосування норм декількох галузей права [7, с. 101]. Згідно з українським законодавством підземні води входять до Переліку корисних копалин загальнодержавного значення [8], їх видобуток та використання регулюється нормами Водного кодексу України від 6 червня 1995 р. (надалі – Водний кодекс, або ВКУ) [3], Кодексом України про

надра від 27 липня 1994 р. (надалі – Кодекс про надра, або КУПН) [6], а підприємницька діяльність – Податковим кодексом України від 2 грудня 2010 р. (надалі – Податковий кодекс, або ПКУ) [9]. Відповідними нормативними документами Польщі є Закон про воду від 18 липня 2001 р. [10] та Закон про охорону навколишнього середовища від 27 квітня 2001 р. [9].

Проблеми техніко-економічного обґрунтування оцінки корисних копалин розглядають у своїх роботах А.Б. Шапран, О.Є. Кошляков, О.І. Качалова, М.М. Курило, В.А. Михайлов, Г.І. Рудько, О.О. Андреева, В.В. Бала та ін. В одному з останніх досліджень "Деякі особливості складання техніко-економічного обґрунтування при повторній оцінці родовищ корисних копалин" групою вчених у складі: А.Б. Шапран, О.Є. Кошляков, О.О. Ліхошерстов, О.І. Качалова, О.О. Ісонкін, Р.П. Колотієвський – здійснено спробу систематизувати досвід складання техніко-економічного обґрунтування для різних видів корисних копалин та запропоновано схему складання розділу ТЕО у звіті про повторну геолого-економічну оцінку родовищ корисних копалин [4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Курс вступу України в ЄС передбачає імплементацію низки європейських законодавчих актів та нормативів, що відобразиться не лише на правових чи економічних відносинах, а й, безумовно, призведе до змін у геологічній галузі, зокрема в розрахунках податків та обов'язкових платежів при складанні техніко-економічного обґрунтування (надалі – ТЕО) доцільності видобутку підземних вод [5]. Дослідження цієї статті базується на опрацюванні та вивченні нормативних документів України та Польщі, необхідних при складанні техніко-економічного обґрунтування видобутку підземних вод. Дане питання досі не було предметом ретельного вивчення.

Формулювання цілей статті. Мета даної статті – визначити та проаналізувати дохід власника надр

(держави), що використовується в процесі складання ТЕО доцільності видобутку підземних вод, відповідно до вимог українського законодавства та європейського (на прикладі Республіки Польщі); порівняти отримані результати. Для реалізації поставленої мети необхідно проаналізувати правові аспекти видобутку підземних

вод згідно із законодавством України та відповідними нормативними документами Польщі.

Виклад основного матеріалу дослідження. В Україні видобуток підземних вод для здійснення господарської діяльності вимагає отримання спеціальних дозволів уповноважених державними органами (табл. 1).

Таблиця 1

**Спеціальні дозволи для видобутку підземних вод при здійсненні господарської діяльності
(станом на 2017 р.)**

№	Найменування дозволу	Обґрунтування необхідності дозволу	Ким видається
1	Дозвіл на спецводокористування	Глава 10 Водного кодексу України, підзаконні акти	Територіальними органами центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері розвитку водного господарства (стаття 49 ВКУ) [3]
2	Спеціальний дозвіл на користування надрами для видобування прісних підземних вод	Статті 16, 21 Кодексу України "Про надра"	Центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр (стаття 16 КУпН) [6]

Згідно з Податковим кодексом суб'єкт господарювання, що здійснює видобування підземних вод (прісні або мінеральні), є платником рентної плати: за користування надрами (ст. 252 ПКУ) та за спеціальне використання води (ст. 255 ПКУ) [9].

Платниками рентної плати за користування надрами для видобування корисних копалин є землевласники та

землекористувачі, що провадять господарську діяльність з видобування підземних вод на підставі дозволів на спеціальне водокористування (ст. 255.1.4 ПКУ).

Рентна плата за користування надрами для видобування корисних копалин питних підземних вод обчислюється згідно із пунктом 252.20 ст. 252 Податкового кодексу України у розмірі 5 % від вартості товарної продукції (табл. 2).

Таблиця 2

Ставки рентної плати за користування надрами для видобування корисних копалин

Назва груп корисних копалин, що надана у користування надрами гірничому підприємству	Ставка, відсоток від вартості товарної продукції гірничого підприємства
води підземні	5,00 %

Платниками рентної плати за спеціальне використання води є водокористувачі – суб'єкти господарювання незалежно від форми власності. Не є платниками рентної плати за спеціальне використання води водокористувачі, які використовують воду виключно для задоволення питних і санітарно-гігієнічних потреб населення. Проте варто зазначити, що суб'єкти господарювання є платниками фактичних обсягів використаної води, незалежно від того, чи використовується частина такої для санітарно-гігієнічних потреб.

Збір за спеціальне використання води розраховується, виходячи з обліку використаної води і з урахуванням ставок збору згідно зі ст. 255, пункту 255.5, підпункту 255.5.2 ПКУ. Наприклад, в м. Києві станом на 2017 рік

така ставка становить 67,39 гривень за 100 м³. Якщо ж ця вода входить виключно до складу напоїв, то ставка за використання є значно вищою і становить 55,13 гривень за 1 м³. Житлово-комунальні підприємства застосовують до ставок рентної плати коефіцієнт 0,3 (ст. 255.7 ПКУ). Для видобувачів запасів корисних копалин ділянки надр, затверджених державною експертизою на підставі звітів з геологічного вивчення, яке виконане платником рентної плати за рахунок власних коштів, застосовується коефіцієнт 0,7 [9].

Окрім вищезазначених рентних плат, суб'єкт підприємницької діяльності сплачує податок на прибуток відповідно до ст. 136 ПКУ. Підсумовуючи, дохід власника надр формується зі складових, представлених в табл. 3.

Таблиця 3

**Загальнодержавні податки та збори від господарської діяльності з видобутку підземних вод
(на прикладі міста Київ) [9]**

Загальнодержавні податки та збори	Ставка	Примітка
Рентна плата за користування надрами	5 % від вартості товарної продукції	стаття 252 (пункт 252.20) ПКУ
Рентна плата за спеціальне використання підземних вод	67,39 гривень за 100 куб. метрів (м. Київ)	стаття 255 (пункт 255.5.2) ПКУ
	55,13 гривень за 1 куб. метр води, що входить виключно до складу напоїв	стаття 255 (пункт 255.5.6) ПКУ
	Житлово-комунальні підприємства	0,3
	Видобування корисних копалин на підставі звітів з геологічного вивчення, яке виконане платником рентної плати за рахунок власних коштів	0,7
Податок на прибуток	18 %	стаття 136 (пункт 136.1) ПКУ

На відміну від України в польській правовій системі не існує поняття "кодекс" (у т. ч. і "Водний кодекс"). Зазвичай польські законодавчі акти мають назву *ustawa* (закон), а до законів з особливим статусом, навколо яких будується система відносин певної галузі, застосовують поняття *prawo* (право).

У Польщі правові відносини у сфері видобутку корисних копалин регулюються Геологічним та гірським правом (*Prawo geologiczne i górnicze*) [10]. Проте підземні води не входять до переліку корисних копалин, за винятком лікувальних вод, розсолів та термальних вод – характеристика яких регламентується ст. 5, пунктом 5.1 цього закону

[10, с. 9]. На видобуток лікувальних вод, розсолів та термальних вод потрібна ліцензія. Ставки сплат за використання таких вод представлені в табл. 4. Закон не поширюється на видобуток підземних вод на глибині до 30 м та продуктивністю менше ніж 5 м³/доба.

Таблиця 4

Ставки сплат за експлуатацію корисних копалин [8, с. 121]

Вид корисних копалин	Ставка (zł/m³)
Розсоли	1,97
Лікувальні води	1,32
Термальні води	0,00

Управління водними ресурсами Польщі регулюється Законом про воду від 18 липня 2001 р. (Prawo wodne Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r.) [12] та Законом про охорону навколишнього середовища від 27 квітня 2001 р. (Prawo ochrony środowiska Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r.) (надалі – ЗпОНС) [11].

Згідно з пунктом 1 ст. 36 Закону про воду [12] власнику земельної ділянки надається право на звичайне користування підземними водами, що знаходяться в межах його ділянки; проте встановлення технічних пристроїв на забір води потребує дозволу (pozwolenia wodnoprawne). У пункті 3 цієї статті зазначено, що до звичайного користування не належить: забір води пристроєм, який уможлиблює продуктивність у кількості більш ніж 5 м³ на добу; користування водою для потреб господарської діяльності. Згідно зі ст. 37 використання підземних вод, що не підлягає умовам звичайного, – належить до спеціального водокористування. У свою чергу спеціальне використання підземних вод вимагає

дозволу (pozwolenia wodnoprawne), що регулюється розд. 4 цього Закону.

За спеціальне водокористування вимагається сплата збору, що регулюється розд. 5 Закону про охорону навколишнього середовища [11]. Збір за видобуток підземних вод здійснюється відповідно ст. 273 та 284 цього Закону та на підставі ст. 291 доповнюється Повідомленням Міністра навколишнього середовища про ставки сплати на поточний рік [15].

Збір за споживання води в Польщі (Opłata za pobór wod podziemnych) залежить від кількості використовуваної води, її призначення та способу очистки, і розраховується за формулою

$$Opłata = V \times S \times w \quad (1)$$

де *Opłata* – плата за видбуток підземних вод; *V* – кількість видобутої води на визначені потреби за півроку (м³); *S* – ставка оплати, залежно від типу споживання води (zł/m³) (табл. 5); *w* – фактор, що залежить від способу очищення води:

- 2 – якщо вода не потребує очищення або обробки, а лише підлягає дезінфекції чи демінералізації або іншим процесам, про які не йдеться нижче;
- 1.25 – знезалізнєння (odżelazianie i utlenianie);
- 1 – видалення марганцю (odmanganianie);
- 0,5 – видалення аміаку, коагуляція, адсорбція (usuwanie amoniaku, koagulacja domieszek, adsorpcja);
- 0,3 – видалення нітратів або важких металів (usuwanie azotanów lub metali ciężkich).

Ставка оплати для певного виду потреб (*S*) визначається згідно з додатком F Повідомленням Міністра навколишнього середовища на поточний рік (табл. 5).

Таблиця 5

Ставки оплати за використання 1 м³ підземних вод на 2017 р. [11, с. 5]

№	Тип споживання води	Ставка (zł/m³)
1	Підземні води	0,115
1a	Підземні води, що використовуються для господарсько-питного водопостачання, споживання людини або для соціально-побутових цілей	0,068
1b	Підземні води використані на потреби продукції, в яких вода входить до складу або має безпосередній контакт із продуктами харчування, фармацевтики або упакування	0,097

Видобуток підземних вод для цілей виробництва напоїв регулюється ст. 274 пунктом 2d Закону про воду, і ставка становить 0,70 zł/m³ [13].

У Польщі податок на прибуток регулюється Законом про податки від доходу фінансових осіб від 26 липня 1991 р. (Ustawa o podatku dochodowym od osób fizycznych z dnia 26 lipca 1991 r.). До осіб, що здійснюють підприємницьку діяльність, застосовується так званий лінійний податок, який становить 19 % від отриманого доходу – ст. 30b [14].

Розрахуємо дохід власника надр (держави) у результаті видобутку підземних вод для господарської діяльності – згідно з вимогами українського та польського законодавства, порівняємо отримані результати.

Для розрахунків скористаємось даними підприємства (наближеного до реальних умов) (табл. 6).

Якщо в Україні рентна плата справляється щоквартально (ст. 257 ПКУ) [9] – тобто 4 рази на рік, то в Польщі – один раз на 6 місяців (ст. 287 ЗпОНС) [9].

Розрахуємо дохід власника надр (держави) від господарської діяльності зі створення та реалізації продуктів харчування:

1. Згідно із законодавством України (табл. 3) за 2 квартали (6 місяців – 182 дні) за вхідними даними підприємства (табл. 6):

Рентна плата за користування надрами становитиме:

$$7 \text{ грн/м}^3 \times 91000 \text{ м}^3 \times 0,05 = 31850 \text{ грн.}$$

Рентна плата за спеціальне використання підземних вод:

$$91000 \text{ м}^3 \times 0,6739 \text{ грн/м}^3 = 61324,9 \text{ грн.}$$

Податок на прибуток:

$$210000 \text{ грн} \times 0,18 = 37800 \text{ грн.}$$

2. Збір за видобуток підземних вод в Польщі обчислюється за формулою (1), де $V = 91\,000 \text{ м}^3$ (табл. 5); $S = 0,097 \text{ zł/m}^3$ (табл. 4).

Відповідно до принципу: якщо обробка підземних вод проводиться з використанням двох або більше процесів очищення – використовується коефіцієнт з найнижчим значенням. У нашому випадку застосовується метод знезалізнєння ($w = 1,25$) та видалення марганцю ($w = 1$). Використовуємо коефіцієнт з меншим значенням, тобто $w = 1$.

$$91000 \text{ м}^3 \times 0,097 \text{ zł/м}^3 \times 1 = 8827 \text{ zł.}$$

Податок на прибуток:

$$30000 \text{ zł} \times 0,19 = 5700 \text{ zł.}$$

Розрахунок доходу власника надр (держави) від господарської діяльності зі створення та реалізації напоїв:

1. Згідно із законодавством України (табл. 3) та вхідними даними підприємства (табл. 6).

Рентна плата за користування надрами:

$$50 \text{ грн/м}^3 \times 91000 \text{ м}^3 \times 0,05 = 227500 \text{ грн.}$$

Рентна плата за спеціальне використання підземних вод, що входять виключно до складу напоїв:

$$91000 \text{ м}^3 \times 55,13 \text{ грн/м}^3 = 5016830 \text{ грн.}$$

Податок на прибуток:

$$10500000 \text{ грн} \times 0,18 = 1890000 \text{ грн.}$$

2. Згідно із законодавством Республіки Польщі. За умов, що до складу напоїв входять виключно лікувальні (мінеральні) води.

Ставка сплат за експлуатацію корисних копалин (табл. 4):

$$91000 \text{ м}^3 \times 1,32 \text{ zł/м}^3 = 120120 \text{ zł.}$$

Збір за видобуток підземних вод для виробництва напоїв:

$$91000 \text{ м}^3 \times 0,7 \text{ zł/м}^3 = 63700 \text{ zł.}$$

Податок на прибуток:

$$1500000 \text{ zł} \times 0,19 = 285000 \text{ zł.}$$

Для наочного порівняння результатів (табл. 7) порівняємо отримані дані за середнім курсом на червень-липень 2017 р.: 1 zł = 7 грн.

Таблиця 6

Дані від господарської діяльності підприємства, необхідні для розрахунків доходу власника надр (держави)

№	Найменування	Значення
Вид господарської діяльності: створення та реалізація продуктів харчування		
1	Наявність дозволу на спецводокористування	+
2	Наявність спеціального дозволу на користування надрами для видобування прісних підземних вод	+
3	Експлуатаційні запаси підземних вод при 182 денному режимі роботи (6 місяців)	500 м³/добу 91 000 м³
4	Метод очищення вод	Знезалізнення, видалення марганцю
5	Річний валовий прибуток підприємства	210 тис. грн (30 тис. zł)
6	Розрахункова ціна 1 м³ води	7 грн
7	Ставка рентної плати за спеціальне використання підземних вод у м. Києві	67,39 грн за 100 м³
Вид господарської діяльності: виготовлення напоїв		
8	Річний валовий прибуток підприємства	10,5 млн. грн (1,5 млн. zł)
9	Розрахункова ціна 1 м³ води	50 грн (7 zł)

Таблиця 7

Порівняльна таблиця розрахунків доходу власника надр від господарської діяльності видобутку підземних вод згідно з українським законодавством та польським

Вид господарської діяльності	виготовлення продуктів харчування		виготовлення напоїв	
	Україна	Польща	Україна	Польща
Рентна плата за користування надрами/ Ставка сплат за експлуатацію корисних копалин	31 850 грн	немає	275 500 грн	840 840 грн
Плата за спеціальне використання підземних вод	61 324,9 грн	61 789 грн	5 016 830 грн	445 900 грн
Податок на прибуток	37 800 грн	39 900 грн	1 890 000 грн	1 995 000 грн
Сумарний дохід власника надр (держави)	130 974,9 грн	101 689 грн	7 182 330 грн	3 281 740 грн

Висновки. Порівняння прямих (адміністративних) та непрямих (економічних) методів державного регулювання видобутку підземних вод згідно із законодавством України та Республіки Польща виявило певні спільні риси та відмінності:

1. Згідно з польським законодавством підземні води (крім лікувальних, розсолів та термальних) не належать до корисних копалин, а тому не регулюються Геологічним та гірським правом (Prawo geologiczne i górnictwo). Таким чином, рентна плата за користування надрами від господарської діяльності видобутку підземних вод у Польщі відсутня. В Україні ж підземні води входять до переліку корисних копалин і регулюються Кодексом про надра. Рентна плата за користування надрами в Україні становить 5 % від розрахункової ціни 1 м³ води, що відносно ускладнює процедуру обрахунку.

2. Порядок плати за спеціальне використання підземних вод (для виготовлення продуктів харчування) в абсолютному значенні є майже однаковий і різниця сягає всього 0,75 %. Проте, якщо вода входить виключно до складу напоїв, то даний податок в українському законодавстві становить 55,13 грн/м³, а в польському – 0,7 zł/м³ (4,7 грн/м³), що вплинуло на результати обрахунків. В абсолютному значенні різниця плати за спеціальне використання підземних вод для виготовлення напоїв становить 91 %.

3. Структура платежів за спеціальне використання підземних вод значно відрізняється. Якщо в українському законодавстві ставка податку залежить від адміністративного положення об'єкта, то в польському – від типу споживання води та способу очистки.

4. За результатами підрахунків:

- показник абсолютного значення сумарного доходу власника надр від господарської діяльності видобутку підземних вод (для виготовлення продуктів харчування) в Україні на 22 % більший, ніж у Польщі;

- показник абсолютного значення сумарного доходу власника надр від господарської діяльності видобутку підземних вод (для виготовлення напоїв) в Україні на 54 % більший, ніж у Польщі.

Український суб'єкт господарювання за даний вид діяльності сплачує значно більше, ніж польський. Це одночасно означає, що наша вітчизняна держскарбниця отримує більше. Така перевага мала б відображатись на поліпшенні екологічної ситуації в Україні, але фактично цього немає, що свідчить про проблеми у питанні асигнування бюджету на екологічні потреби. Також у результаті таких значних витрат з доходу на сплату податків суб'єкти господарювання не мають змоги вкладати кошти в розвиток на освоєння нових родовищ, тому, як правило, розробляються лише розвідані.

На думку автора, вітчизняні методи державного регулювання видобутку підземних вод потребують вдосконалення за допомогою непрямих (економічних) інструментів: здійснення диференціації платежів із врахуванням умов експлуатації запасів підземних вод, їх якості, глибини залягання водоносного горизонту та напрямку використання добутої води, а також необхідно переглянути доцільність сплати податку за користування надрами при спеціальному водокористуванні.

Список використаних джерел

- Бомановський Б. Система органів адміністрування водними ресурсами в Республіці Польща [Електронний ресурс] / Б. Бомановський // Науковий блог Національного університету "Острозька академія". – 2012. – Режим доступу: <http://naub.ua.edu.ua/2012/systema-orhanov-admystryrovanyya-vodnyimi-resursamy-v-respublyke-polsha/>
- Васецький В. Ю. Доктрина прав людини в романо-германській правовій системі : дис. ... канд. юр. наук: 12.00.01 / В. Ю. Васецький. – К., 2005. – 200 с.
- Водний кодекс України від 06.06.1995 [Електронний ресурс] / Законодавство України. Офіційний сайт Верховної Ради України. – 2017. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>
- Деякі особливості складання техніко-економічного обґрунтування при повторній оцінці родовищ корисних копалин / А. Б. Шапран, О. Є. Кошляков, О. О. Ліхощерстов та ін. // Сб. науч. трудов УкрГГРИ. – 2017. – С. 196–208.
- Інструкція про зміст, оформлення та порядок подання до Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ мінеральних підземних вод від 08.08.2003 [Електронний ресурс] / Законодавство України. Офіційний сайт Верховної Ради України. – 2003. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0732-03>.
- Кодекс України про надра від 27.07.1994 [Електронний ресурс] / Законодавство України. Офіційний сайт Верховної Ради України. – 2016. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр>
- Мухина Э. Н. Подземные воды как объект регулирования отраслей природоресурсного права / Э. Н. Мухина. – М.: Норма, 2010. – 105 с.
- Перелік корисних копалин загальнодержавного значення від 12.12.1994 [Електронний ресурс] / Законодавство України. Офіційний сайт Верховної Ради України. – 2012. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/827-94-п>
- Податковий кодекс України [Електронний ресурс] / Законодавство України. Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>
- Prawo geologiczne i górnictwo. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. [Електронний ресурс] / Wyższy Urząd Górnictwa. – 2016. – Режим доступу: http://www.wug.gov.pl/prawo/nowe_pgg
- Prawo ochrony środowiska. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. [Електронний ресурс] / Baza Internetowy System Aktów Prawnych. – 2017. – Режим доступу: <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010620627>
- Prawo wodne. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. [Електронний ресурс] / Baza Internetowy System Aktów Prawnych. – 2017. – Режим доступу: <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20011151229>
- Prawo wodne USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. [Електронний ресурс] / Baza Internetowy System Aktów Prawnych. – 2017. – Режим доступу: http://orka.sejm.gov.pl/proc8.nsf/ustawy/1529_u.htm
- Ustawa o podatku dochodowym od osób fizycznych z dnia 26 lipca 1991 r. [Електронний ресурс] / Wydawnictwo Podatkowe GOFIN. – 2017. – Режим доступу: <http://www.przepisy.gofin.pl/przepisy,2,13,13,700,,,ustawa-z-dnia-26071991-r-o-podatku-dochodowym-od-osob.html>
- Załączniki do obwieszczenia Ministra Środowiska z dnia 29 czerwca 2016 r. // Monitor Polski Dziennik urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej. – 2016. – № 718. – С. 1–46.

References

- Bomanovski, B. (2012). The system of water management in the Republic of Poland. Science Blog of the National University of "Ostroh Academy". URL: <http://naub.ua.edu.ua/2012/systema-orhanov-admystryrovanyya-vodnyimi-resursamy-v-respublyke-polsha/>. [in Russian].
- Vasetskyi, V. (2005). The Human Rights Doctrine in the Roman-Germanic legal system: PhD thesis: 12.00.01. Kyiv, 200. [in Ukrainian].
- The Water Code of Ukraine from 06.06.1995. (2017). Legislation of Ukraine. The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр> [in Ukrainian].
- Shapran, A. B., Koshliakov, O. Ie., Likhoshershtov, O. O. et al. (2017). Some peculiarities of the feasibility study for the re-evaluation of mineral deposits. UkrGGRI collection of scientific works, 196–208. [in Ukrainian].
- Instruction on the content, design and procedure for submitting to the State Commission of Ukraine for Mineral Reserves materials for the geological and economic assessment of mineral groundwater deposits. (2003). Legislation of Ukraine. The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0732-03> [in Ukrainian].
- The Code of Ukraine about subsoil from 27.07.1994. (2016). Legislation of Ukraine. The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр> [in Ukrainian].
- Mukhina, E. N. (2010). Underground waters as an object of regulation of natural resources law branches. Legal publishing house "Norma", 99, 105. [in Russian].
- The list of mineral deposits of national importance from 12.12.1994. (2012). Legislation of Ukraine. The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/827-94-п> [in Ukrainian].
- The Tax Code of Ukraine. (2017). Legislation of Ukraine. The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> [in Ukrainian].
- The Geological and mining law. Act of 9 June 2011. (2016). Higher Mining Authority. URL: http://www.wug.gov.pl/prawo/nowe_pgg. [in Polish].
- The Environmental law. Act of April 27, 2001. (2017). Database of Legal Acts. URL: <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010620627> [in Polish].
- The Water Law. Act of 18 July 2001. (2017). Database of Legal Acts. URL: <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20011151229> [in Polish].
- The Water Law. Act of 20 July 2017. (2017). Database of Legal Acts. URL: http://orka.sejm.gov.pl/proc8.nsf/ustawy/1529_u.htm. [in Polish].
- The Personal Income Tax Act of 26 July 1991. (2017). GOFIN Tax Administration. URL: <http://www.przepisy.gofin.pl/przepisy,2,13,13,700,,,ustawa-z-dnia-26071991-r-o-podatku-dochodowym-od-osob.html>. [in Polish].
- The Appendices to the Notice of the Minister of the Environment. (2016). Monitor Polski Official gazette of the Republic of Poland, 718, 1–46. [in Polish].

Надійшла до редколегії 05.09.17

O. Luibchyk, PhD student

E-mail: ksuha777ha777@gmail.com

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

E-mail: kosh@univ.kiev.ua;

M. Kurilo, Cand. Sci. (Geol.), Assos. Prof.

E-mail: rika_m@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

TAX CALCULATION OF GROUNDWATER EXTRACTION UNDER THE APPLICABLE LAWS OF UKRAINE AND REPUBLIC OF POLAND

The legal aspects, direct (administrative) and indirect (economic) instruments of state regulation of groundwater extraction were analyzed. According to the Ukrainian legislation, groundwater is in the Listed Minerals of national importance. The Water Code of Ukraine, the Code of Ukraine about subsoil and the Tax Code of Ukraine regulate the groundwater extraction and usage. At the same time in the Polish law the groundwater (except medical, brine and thermal) is not classified as mineral and is regulated by the Law of Water (Prawo wodne), the Law of Environmental Protection (Prawo ochrony środowiska) and the Law of Taxes on the income of financial entities (Ustawa o podatku Dochodowym od osób fizycznych).

The structure of income generation of the subsoil owner was studied. According to the legislation of Ukraine it consists of the rent for the usage of mineral resources, the rent for the special usage of groundwater and the income tax. The Polish law determines only payment for the special usage of water and income tax.

The scientific novelty consists in comparing the income generation of the subsoil owner in accordance to the legislation of Ukraine and Poland, determining its order in absolute values. It is stated that the structure of payments for the special usage of groundwater is significantly different. If the Ukrainian legislation of the tax rate depends on the administrative position of the object, the Polish legislation depends on the type of water consumption and the method of purification.

The practical value of the research is in the application of results to improve system of state regulation of groundwater extraction through indirect (economic) instruments: implementation of payments differentiation with regard to the conditions of groundwater, quality, aquifer depth and type of water usage.

Keywords: groundwater, water law, permission for special water use, tax on groundwater extraction, feasibility study.

О. Любчик, асп.

E-mail: ksuha777ha777@gmail.com

А. Кошляков, д-р геол. наук, проф.

E-mail: kosh@univ.kiev.ua;

М. Курило, канд. геол. наук, доц.

E-mail: rika_m@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

РАСЧЕТ ДОХОДА ВЛАДЕЛЬЦА НЕДР (ГОСУДАРСТВА) ОТ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ДОБЫЧЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СОГЛАСНО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВАМ УКРАИНЫ И ПОЛЬШИ

Проанализированы правовые аспекты, прямые (административные) и косвенные (экономические) инструменты государственного регулирования добычи подземных вод. Согласно украинскому законодательству подземные воды входят в Перечень полезных ископаемых общегосударственного значения, их добыча и использование регулируется нормами Водного кодекса Украины, Кодексом Украины о недрах, а предпринимательская деятельность – Налоговым кодексом Украины. В польском законодательстве подземные воды (кроме лечебных, рассолов и термальных) к полезным ископаемым не относятся и регулируются Законом о воде (Prawo wodne), Законом об охране окружающей среды (Prawo ochrony środowiska) и Законом о налогах от дохода финансовых лиц (Ustawa o podatku dochodowym od osób fizycznych).

Исследована структура формирования дохода владельца недр. Согласно законодательству Украины она состоит из рентной платы за пользование недр, рентной платы за специальное использование подземных вод и налога на прибыль. В польском законодательстве предусмотрена только плата за специальное использование воды и налог на прибыль, а рентная плата за пользование недр от хозяйственной деятельности по добыче подземных вод (кроме лечебных, рассолов и термальных) отсутствует.

Научная новизна заключается в исследовании и сравнении формирования дохода владельца недр в соответствии с законодательствами Украины и Польши, определении его порядка в абсолютных значениях. Выяснено, что структура платежей за специальное использование подземных вод значительно отличается. Если в украинском законодательстве ставка налога зависит от административного положения объекта, то в польском – от типа потребления воды и способа очистки.

Практическая значимость работы заключается в применении результатов исследования для совершенствования методов государственного регулирования добычи подземных вод, прежде всего с помощью косвенных (экономических) инструментов: осуществление дифференциации платежей с учетом условий эксплуатации запасов подземных вод, их качества, глубины залегания водоносного горизонта и цели использования добытой воды.

Ключевые слова: подземные воды, водное право, разрешение на спецводопользование, рентная плата, технико-экономическая оценка.

УДК 553.311:550.424

С. Кошарна, асп.

E-mail: sofia.kosharna@ukr.net

М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.

E-mail: mnkorzhnev@google.com

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

ВАЖКІ МЕТАЛИ НА ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Л. Шевченком)

Мета. Визначити та пояснити закономірності розподілу важких металів на територіях техногенних об'єктів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) у Кривому Розі та обґрунтувати правомірність застосування методу напівкількісного атомно-емісійного спектрального аналізу при таких дослідженнях.

Методика. При виконанні дослідження і визначенні забруднення ґрунтів застосовувалися різні методи спектрального аналізу (напівкількісний атомно-емісійний і атомно-абсорбційний з використанням 0,5М HCl і 2М HNO₃), проведено їх порівняння.

Результати. Вміст і розподіл важких металів у ґрунтах на об'єктах ГЗК залежить, головним чином, від дольової участі у них різного осадового матеріалу. Це: матеріал кори вивітрювання гранітів і порід зеленокам'яних поясів Середнього Придніпров'я, а також породи криворізької серії; продукти збагачення залізних руд на ГЗК та осади, утворені при скиданні високомінералізованих шахтних та технічних вод підприємств; матеріал шлаків та димів металургійних підприємств, привнесений вітром; продукти переробки побутових відходів. Основним джерелом надходження важких металів у ґрунти Кривого Рогу є шлаки та дими металургійних підприємств. Таким джерелом не можуть бути шлами переробних підприємств внаслідок низького вмісту в породах залізисто-кремневих формацій елементів-домішок, у тому числі і важких металів. При попаданні важких металів у ґрунти відбувається їх перерозподіл під дією вітру і атмосферних опадів з переносом і накопиченням пиловатих часток – основних концентраторів важких металів у пониженнях рельєфу. В цілому, це може приводити до розсіяння важких металів у ґрунтах.

Наукова новизна. Визначені фактори геохімічної міграції важких металів у межах локальних геохімічних арен техногенних об'єктів гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя.

Практична значимість. Закономірності міграції важких металів, що виявлені, відкривають можливість більш точного прогнозу їх розподілу у ґрунтах на об'єктах ГЗК.

Ключові слова: важкі метали, фактори геохімічної міграції, локальні техногенні геохімічні ландшафти, методи спектрального аналізу.

Вступ. Тривала експлуатація залізрудних родовищ у Криворізькому басейні з економією на екологічних витратах призвела до відпрацювання найкращих покладів руд, погіршення гірничо-геологічних умов їх видобутку та кризового, наближеного до катастрофічного стану навколишнього середовища. Свій внесок у це погіршення робить забруднення важкими металами (ВМ) ґрунтів. Необхідні фінансові ресурси на екологічну реабілітацію територій перевищують витрати на видобуток і переробку руд.

Постановка проблеми. Хоча за даними більшості дослідників породи залізисто-кремневих формацій зазвичай мають низький вміст важких металів [1, 9 та ін.], тим не менш ґрунти навколо Кривого Рогу забруднені ними. Розподіл їх вмісту підпорядковується переважачим напрямкам вітрів, враховуючи їх сезонність. Найвищу концентрацію важких металів виявлено на території західних і південних околиць міста, особливо в межах 2-3 км від їх границь, що цілком відповідає тій відстані, на яку розповсюджується хмара пилу з шлакових відвалів металургійних комбінатів. Повітря у Кривому Розі, у порівнянні з фоновими концентраціями, збагачене оксидами кремнію та заліза (90% всіх пилових часток), а також містить підвищені концентрації оксиду вуглецю, сірки, азоту [2, 5, 9, 10].

Незважаючи на очевидне головне джерело і механізм надходження ВМ у ґрунти, їх подальша міграція ще вивчена недостатньо. Тому метою даного дослідження було вивчити чинники цієї міграції на техногенних об'єктах ГЗК. Крім того, у попередні роки накопичена велика кількість геохімічних даних, отриманих напівкількісним атомно-емісійним спектральним аналізом, який поступається сучасним методам аналізу. Постає питання – можна чи ні їх використовувати у вивченні забруднення ґрунтів. Частково це також розглянуто у статті.

Виклад основного матеріалу. Практично всі техногенні об'єкти гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) у Кривому Розі представляють собою локальні природно-техногенні геолого-екологічні системи, що мають власну циклічність розвитку, пов'язану з технологічними циклами

видобутку і збагачення залізних руд. Це обумовлює існування на їх територіях певних техногенно-геохімічних ландшафтів і локальних арен геохімічної міграції [8, 11]. Першими у технологічному ланцюжку діяльності ГЗК знаходяться об'єкти видобутку залізної руди (кар'єри і шахти). Шахтні й кар'єрні води зазвичай скидаються у балки, де формуються пруди-відстійники. Шлами від збагачення залізної руди трубопровідним транспортом чи машинами подаються у шламосховища насипного чи яружного типу.

Для оцінки просторового розподілу важких металів на об'єктах ГЗК у місті Кривий Ріг було обрано 4 райони досліджень. Перший – Червона балка, що розташована в 3 км на північ від ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Другий – балка Свистунова, що по факту є ставком-накопичувачем шахтних вод ДП "Кривбасшахтозакриття". Третій – хвостосховище, яке розташоване поміж ПАО НІПІ "Механобрчермет", Південним кар'єром та шахтою "Гігант-Глибока", що нині працює в режимі гідрозахисту. Четвертий – охоплює прилеглу до кар'єру № 1 територію, включаючи хвостосховище ПРАТ "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат" (ЦГЗК). Із вищеперерахованих районів відбиралися проби ґрунтових покривів, які в основному представлені чорноземом, технічним мулом, суглинками, бентонітовою глиною, пісками із домішками нафтопродуктів, донних відкладів та шламів.

49 проб району досліджень проаналізовані напівкількісним атомно-емісійним спектральним аналізом у лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, а 17 з цих проб – у лабораторії Технічного університету м. Кошиці (Словаччина) методами атомно-абсорбційного спектрального аналізу з використанням 0,5М HCl та 2М HNO₃. Вміст ВМ і характер кореляційних зв'язків між елементами у одній і тій вибірці відрізняються в залежності від методу аналізу. Висновки про розподіл ВМ на об'єктах ГЗК у статті ґрунтовані на даних атомно-емісійного спектрального аналізу. Тому спочатку проведемо його порівняння з атомно-абсорбційним спектральним аналізом

Зрозуміло, що напівкількісний атомно-емісійний (АЕ) спектральний аналіз не може за точністю і чутливістю конкурувати з атомно-абсорбційним (АА) спектральним аналізом. Нині АА метод аналізу дозволяє визначати близько 70 елементів – металів і неметалів. Для більшості елементів, які визначаються можливе досягнення відносно низьких меж виявлення: в полум'яному варіанті – від десятих до десятків і сотень мкг/л; у електротермічному варіанті – від тисячних до десятків мкг/л. Абсолютні межі виявлення в полум'ї складають 10^{-1} -105 нг, в електротермічному варіанті – 10^{-5} -10 нг [3]. Тим не менш, практично всі висновки щодо розподілу ВМ у Кривому Розі базуються на даних напівкількісного АЕ аналізу. Тому варто більш детально зупинитись на порівнянні АЕ і АА аналізів на даних вищезгаданої вибірки із 17 проб.

Точність напівкількісного АЕ спектрального аналізу зазвичай залежить від суб'єктивної оцінки оператором інтенсивності спектральних ліній. Треба відмітити, що при АЕ аналізі такі багатокомпонентні речовини як руди, мінерали і гірські породи характеризуються фракційністю випаровування (у часі) з'єднань елементів із розплавів, які утворюються в каналі електрода. Наприкінці випаровування в хмару дуги поступають найменш летучі з'єднання елементів [12], але атомізація проби при темпера-

турі дуги (біля 6800° К) проходить повністю. При АА аналізі вилучення елементів у робочий розчин може проходити не повністю внаслідок різної хімічної стійкості мінералів. Це стосується, насамперед, акцесорних мінералів (наприклад циркону), більшість яких майже не розчинюється у кислотах. Цим може пояснюватися розходження результатів різних методів спектрального аналізу, при порівнянні яких (табл. 1) виділяються декілька груп:

1. АЕ дає схожі результати хоча б з одним видом АА аналізу з відхиленням у межах 10 мкг/кг (у таблиці виділені жирним шрифтом). Результати АЕ аналізу можна вважати більш менш достовірними.

2. Результати АЕ аналізу мають проміжне положення між результатами АА аналізу різними методами і значно відрізняються від них. Характерно для Cr (4 проби).

3. Результати зростають від АЕ аналізу до АА аналізів (зазвичай найбільші у АА аналізах з використанням 2М HNO₃, часто АА аналізи співпадають чи схожі). Характерно для Cr (9 проб) і Sb.

4. Результати АЕ аналізу значно вищі (у 2 рази і значно більше) за результати АА аналізів, які часто можуть бути схожими чи співпадати (сірий колір комірок у таблиці). Характерно для Cu, у меншому ступені для Pb і Zn. Причому результати АА аналізів зазвичай схожі чи співпадають.

Таблиця 1

Вміст ВМ у пробах, визначений різними методами спектрального аналізу в мкг/кг
(напівкількісним атомно-емісійним – верхня цифра, атомно-абсорбційним з використанням 0,5М
HCl – середня, атомно-абсорбційним з використанням 2М HNO₃ – нижня, н/в – вміст не визначався)

№ проби	Висота над рівнем моря, м	Назва проби	Cr	Sb	Cu	Pb	Zn
1	90	Технічний мул, гнила рослинність, дрібнодисперсні відходи з домішками рослинності, гілки, коріння дерев	60 33,9 104,01	н/в 96,84 110,68	100 68,29 164,92	60 50,5 41	80 338,35 670,73
4	84	Мазут	80 16,28 105,79	н/в 92,99 126,64	60 46,05 65,9	30 35 36,5	30 173,02 177,54
7	80	Грубозернистий пісок із домішкою нафтопродуктів та рослинності	80 18,91 141,12	н/в 70,84 122,03	50 13,29 13,99	40 11,5 12,5	50 52,7 56,04
10	73	Чорнозем, рослинність	0 86,11 155,22	н/в 86,11 120,68	50 0 49,09	30 46,9 38	50 41 221,47
12	35	Дрібнодисперсний пісок	60 25,89 158,98	н/в 82,86 117,45	60 25,55 27,31	60 32,5 26	80 154,87 159,01
14	81	Травертиноподібні четвертинні відкладення	2 98,02 230,93	н/в 94,71 103,07	5 4,5 5,72	2 20 21,5	0 18,27 26,74
16	61	Донні відкладення	20 37,1 209,83	н/в 88,73 133,04	0 15,9 35,65	0 0 10	0 14,33 17,74
18	88	Донні відкладення	0 0 0	н/в 0 0	50 21,49 21,49	0 6 6	80 26,55 26,55
21	84	Донні відкладення	30 8,69 201,67	н/в 79,35 105,72	10 16,35 18,17	0 9 13,5	0 23,57 26,07
25	78	Шлам змішаний із матеріалами шахтного видобутку	30 62,7 217,62	н/в 84,06 117,13	10 11,32 27,4	20 3 10,5	50 20,71 24,14
27	76	Сухий шлам, осадовий із шахтної води	30 1,81 1,81	н/в 0 0	20 15,4 15,4	20 24,5 24,5	100 47,1 47,1
30	80	Гудрон, чорний сухий шлам	0 37,3 241,27	н/в 69,43 116,86	20 9 22,51	20 6 7,5	80 13,54 18,65
32	14	Дресва, кора вивітрювання гранітів та мігматитів	20 25,71 25,71	н/в 6,46 115,44	200 10,1 10,1	30 0 0	0 13,16 13,16
35	23	Зелена морська глина, що залягає на вапняково-глинистій породі	20 6,46 42,92	н/в 22,67 114,56	80 7,2 18,21	20 4,5 13,5	0 2,45 5,6

Закінчення табл. 1

№ проби	Висота над рівнем моря, м	Назва проби	Cr	Sb	Cu	Pb	Zn
37	73	Зелено-сіра глина	8 22,67 41,06	н/в 73,28 115,23	80 5,31 20,4	10 0 8,5	80 6,05 25,06
38	70	Каолінові відклади	10 50,87 66,19	н/в 87,32 100,14	80 5,83 19,7	10 0 5,5	0 0,41 4,08
39	45	Суміш чорнозему, глини, піску і деревинних решток	8 70,41 80,8	н/в 95,98 121,99	80 8,12 120,26	20 0 4	60 2,4 23,65

Розраховані за даними, отриманими різними методами спектрального аналізу в одній і тій ж вибірці з 17 проб, парні кореляційні зв'язки Пірсона зображені на рис. 1. Вони найбільш різні між різними ВМ у даних, отриманих АА аналізом з використанням 2М HNO_3 , та частково втрачаються і стають слабкішими у даних, отриманих АА аналізом з використанням 0,5М HCl . Теж само стосується і зв'язків ВМ з висотою місць відбору проб над рівнем моря. У даних, отриманих АЕ аналізом, зв'язки між ВМ ще слабкіші, але з'являються так звані "наведені" зв'язки – сильний прямий між Cr і Pb, слабкий прямий між Zn і висотою над рівнем моря та зворотній між Cu і висотою над рівнем моря, який також з'являється і у виборці АЕ аналізу із 49 проб, по яких можна більш детально судити про те з чим пов'язані кореляційні зв'язки. Пояснення появи кореляційних зв'язків між елементами у вибірках проб полягає у тому, що з одного боку в мінералах-концентраторах вони знаходяться в певних процентних співвідношеннях, а з іншого – самі такі мінерали присутні в пробах у різній кількості. Це у сукупності виражається у вмісті елемента у пробі та певних кореляційних зв'язках між елементами. Пов'язана сильними кореляційними зв'язками група елементів (рис. 2), скоріше за все, характеризує кору вивітрювання архейських порід з концентрацією елементів у хімічно стійких мінералах типу циркону і монациту. Із важких металів в ній присутні Ni, Co, Be та ін. До цієї групи примикає група ВМ, пов'язаних менш сильними зв'язками (Cu, Zn, Pb, Cr, Ba, Mn, Sn, Ag), які ймовірно зв'язані з вивітрюванням відвалів шлаків металургійних комбінатів, коли внаслідок їх окислення формуються пухкі маси гідрокарбонатів, що можуть легко переноситися вітром [9].

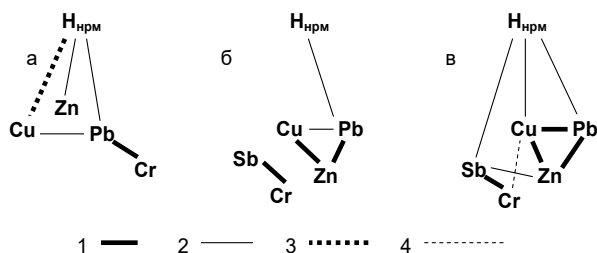


Рис. 1. Кореляційні зв'язки між важкими металами та висотою над рівнем моря ($H_{\text{нрм}}$) у вибірці 17 проб різними методами:

а – атомно-емісійний аналіз; б – атомно-абсорбційний аналіз із використанням 0,5М HCl ;
в – атомно-абсорбційний аналіз із використанням 2М HNO_3 . Зв'язки: 1 – сильні прямі (>0,5), 2 – слабкі прямі (0,3 – 0,5),
3 – сильні зворотні (>0,5), 4 – слабкі зворотні (0,3 – 0,5)

Із наведеного порівняння спектральних методів АЕ аналізу і АА аналізів можна зробити наступні висновки:

1. Найбільш точним методом АА аналізу в нашому випадку являється атомно-абсорбційний аналіз із використанням 2М HNO_3 , що, скоріше за все, пов'язане з найбільш повним вилученням елементів у робочий розчин при підготовці проб.

2. Вміст ВМ у пробах пов'язаний прямими, хоча і не такими сильними, кореляційними зв'язками з висотою відбору проб на місцевості.

3. Суттєвий кореляційний зв'язок між Cu і висотою над рівнем моря у вибірках АЕ аналізу має логічне пояснення поглинанням цього елемента рослинністю у більш низьких і вологих місцях, хоча і частково може бути наведеним за рахунок неточності визначень вмісту Cu. Але "завищення" вмісту Cu зазвичай припадають у вибірках АЕ аналізу на кору вивітрювання гранітів і мігматитів та хімічно стійкі продукти її переміщення (каолінові відклади та різні глини), матеріал якої у тій чи іншій кількості присутній у пробах.

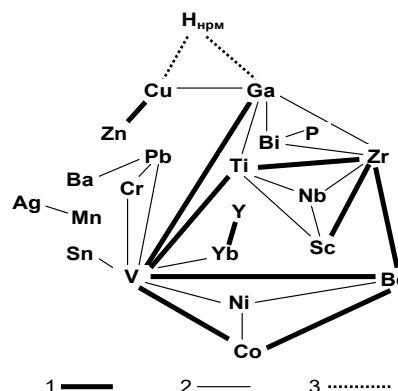


Рис. 2. Кореляційні зв'язки між важкими металами та висотою над рівнем моря ($H_{\text{нрм}}$).
Вибірка 49 проб, напівкількісний атомно-емісійний аналіз.
Зв'язки: 1 – сильні прямі (0,6 – 0,8), 2 – слабкі прямі (0,5),
3 – слабкі зворотні (0,5)

З врахуванням цих висновків спробуємо проаналізувати розподіл ВМ на об'єктах ГЗК. Виходячи з аналізу геологічних даних, накопичених по регіону досліджень, і сучасної екологічної ситуації у Кривому Розі, вміст і розподіл важких металів у ґрунтах на об'єктах ГЗК має визначатися, головним чином, відсотковою часткою у них матеріалу: а – кори вивітрювання гранітоїдів і порід зеленокам'яних поясів Середнього Придніпров'я та порід криворізької серії; б – продуктів відходів збагачення залізних руд на ГЗК і осадів, сформованих при скиді високомінералізованих шахтних вод і технічних вод підприємств; г – шлаків і димів металургійних підприємств, привнесеному вітром; д – продуктів перетворення побутових відходів.

Червона балка. Точки відбору проб, їх висота над рівнем моря та вміст у них важких металів показані в таблиці 1. Перші 11 проб відібрані у верхній частині балки, а остання – на значній відстані від них біля дамби, яка відділяє її від річки Інгулець.

Якщо уважно аналізувати зміни вмісту важких металів за профілем балки Червона (рис. 3), то можна відмітити, що концентрації майже всіх елементів певним чином пов'язані з кривою висоти відбору проб – у окремих більш високих точках вони менші, а у переважній більшості понижених ділянок на місцевості вони є більшими.

Це можна пояснити тим, що з більш високих відміток місцевості пилюваті частинки, привнесені з шлакових відвалів металургійних комбінатів, які збагачені ВМ, змиваються чи переносяться вітром у понижені місця. Високі значення вмісту ВМ на кінці профілю обумовлені розташованою там дамбою, що перешкоджає подальшій міграції важких металів. Крім того, у гирлі Червоної балки характерне накопичення великої кількості побутових відходів, а в сукупності із географічною близькістю БАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" підвищений вміст там ВМ має

логічне пояснення. Розподіл свинцю і міді частково можливо пояснити ще й їх виносом рослинністю і подальшим накопиченням у гумусовому горизонті, що, враховуючи близькість паркової зони, може мати місце [6, 8].

Розраховані парні коефіцієнти кореляції Пірсона (табл. 2) показують статистично значущі позитивні зв'язки між Ni і Cu та між Pb, Cu і Zn. Незначні позитивні зв'язки виявляються у Ni з висотою над рівнем моря і Zn.

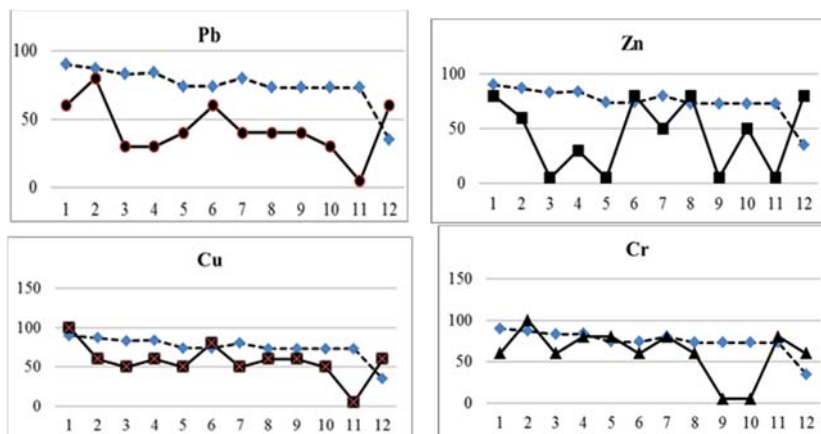


Рис. 3. Графіки розподілу концентрацій Pb, Cu, Zn, Cr у г/т по 12 точках за профілем балки "Червона" за даними АЕ спектрального аналізу (пунктирна лінія – висота у метрах над рівнем моря)

Таблиця 2

Матриця парних коефіцієнтів кореляції Пірсона за даними 12 проб

	Висота, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn
Висота, м	1					
Ni	0.34	1				
Cr	—	—	1			
Cu	—	0.61	—	1		
Pb	—	—	—	0.72	1	
Zn	—	0.34	—	0.63	0.66	1

Балка Свистунова. Як уже зазначалося, ця балка за призначенням є ставком-накопичувачем, в який уже дуже тривалий час скидають стоки шахтних вод чотирьох криворізьких гірничодобувних підприємств. Згідно з результатами екологічного моніторингу 2015 року, за рік у балці Свистунова накопичується до 12 млн м³ високомінералізованих шахтних вод [http://1tv.kr.ua/news/7126]. У балці вони відстоюються, осаджуються домішки, після чого води скидаються в р. Інгулець. Дозований скид шахтних вод із балки Свистунова до річки значно знизив концентрації важких металів, що накопичувалися в ній. Вміст

жодного із досліджуваних елементів не перевищує свої ГДК. І тим не менш, деякі закономірності в їхньому розподілі уздовж балки все ж простежуються. Якщо аналізувати зміни концентрацій ВМ від точки скиду шахтних вод, то для більшості ВМ йде їх перенесення і накопичення у понижених місцях ближче до виходу з балки (табл. 3). Результатами аналізів було зафіксовано коливання концентрацій міді (8–20 мг/кг), які можливо пояснити їх частковим поглинанням рослинністю, а не лише виносом надлишків до р. Інгулець.

Таблиця 3

Вміст важких металів за профілем балки Свистунова за даними атомно-емісійного спектрального аналізу

Проба	Висота, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn
18	88	50	0	50	0	80
19	86	50	0	10	0	0
20	88	50	20	8	10	0
21	84	50	30	10	0	0
22	83	50	50	20	30	0

Хвостосховище, поміж ПАО НІПІ "Механобрчермет", Південним кар'єром та шахтою "Гігант-Глибока". Ділянку району дослідження, де відбиралися зразки, властивий відносно рівний рельєф, із перепадами висот не більше 8-10 м. Особливістю досліджуваного хвостосховища є його географічне розташування поміж ПАО НІПІ "Механобрчермет", Південним кар'єром та шахтою "Гігант-Глибока". Таке положення уже саме слугує поясненням наявності в одному місці таких різних осадків і утворень. Серед відібраних зразків

фігурують різноманітні донні осадки, продукти збагачення залізної руди, шлам, змішаний із матеріалами шахтного видобутку, осадки із шахтної води та звичайний кварцовий пісок.

Розподіл ВМ по периметру хвостосховища має доволі рівномірний характер. Розраховані за даними АЕ аналізу проб парні коефіцієнти кореляції Пірсона (табл. 4) показують статистично значущий зворотній зв'язок Zn з висотою над рівнем моря (що може пояснюватися його переносом і накопиченням у більш низьких і вологих місцях рельєфу

[4]) і Pb, слабкий негативний зв'язок між Cr і Cu, слабкі позитивні зв'язки з цією висотою Cr і Pb та статистично значущий позитивний зв'язок між Cu і Pb.

Прилегла територія до кар'єру №1 ПРАТ ЦГЗК. Її площа достатньо велика. З цієї причини вона була розбита на три частини: перша – велике хвостосховище ПРАТ "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат" (ЦГЗК), що розташоване в тальвегах балок Велика та Мала Лозуватка; друга – периметр хвостосховища кар'єру № 1; третя – безпосередньо західний борт кар'єру № 1.

Розглядаючи просторовий розподіл важких металів у межах хвостосховища кар'єра № 1 таких елементів, як мідь, свинець та нікель спостерігається тенденція до накопичення більших їх концентрацій у безпосередній близькості з досліджуваним об'єктом.

Останнім об'єктом став західний борт кар'єру № 1 (табл. 5). І це єдина площа дослідження, де зразки відбиралися у межах безпосередньо гірничодобувного підприємства. У даному випадку, вздовж південно-західної частини борту чітко простежуються підвищені концентрації усіх ВМ. Подібні накопичення можна пов'язати із переважаючими в даній місцевості північно-східними вітрами, які сприяють переносу певного відсотку осадового матеріалу із накопиченими у ньому ВМ.

Розрахунки парних коефіцієнтів кореляції Пірсона (табл. 6) виявили значущі зворотні кореляційні зв'язки Cr, Cu з висотою відбору проб над рівнем моря та значущі прямі – між всіма ВМ. Це дозволяє стверджувати, що пиловаті частинки–концентратори ВМ переносяться вітром чи вимиваються атмосферними опадами з більш високих гіпсометричних відміток рельєфу в бік його понижених ділянок.

Таблиця 4

Матриця парних коефіцієнтів кореляції Пірсона для хвостосховища за даними 8 проб АЕ аналізу

Висота, м	Висота, м	Cr	Cu	Pb	Zn
Cr	1	1			
Cu	0.44	-0.36	1		
Pb	–	–	0.52	1	
Zn	0.39	–	–	-0.58	1

Таблиця 5

Вміст важких металів вздовж західного борту кар'єру № 1 за даними атомно-емісійного спектрального аналізу

Проба	Висота, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn
40	69	100	200	100	40	80
41	72	300	50	100	30	200
42	71	40	60	60	40	0
43	70	50	50	50	50	0
44	76	10	10	10	10	0
45	78	20	30	20	20	0
46	81	80	50	50	40	50
47	79	20	40	20	40	0
48	79	80	50	40	40	0
49	79	80	60	40	40	50

Таблиця 6

Матриця парних коефіцієнтів кореляції Пірсона за даними табл. 5

Висота, м	Висота, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn
Ni	1	1				
Cr	–	–	1			
Cu	-0.52	0.77	0.70	1		
Pb	-0.65	0.79	0.38	0.38	1	
Zn	–	0.96	–	0.77	–	1

Висновки. Аналіз матеріалів, наведених у цій статті, дозволяє зробити наступні висновки щодо можливостей одночасного використання різних методів спектрального аналізу при геохімічних дослідженнях, а також джерел надходження й особливостей міграції ВМ на об'єктах ГЗК:

1. Хоча точність і чутливість напівкількісного АЕ спектрального аналізу невеликі, використання його даних у геохімічних дослідженнях разом з даними АА спектрального аналізу може бути виправдано за умови проведення детальних мінералогічних досліджень проб.

2. Основним джерелом надходження ВМ у ґрунти у Кривому Розі є шлаки і дими металургійних підприємств. Таким джерелом не можуть бути шлами переробних підприємств внаслідок низького вмісту елементів-домішок, у тому числі і важких металів, в породах залізо-кремневих формацій.

3. При потраплянні ВМ у ґрунти йде їх перерозподіл під дією вітру і атмосферних опадів з перенесенням і накопиченням пиловатих часток – основних концентраторів ВМ, у понижених частинах рельєфу. В цілому, це може приводити до розсіяння ВМ у ґрунтах.

Список використаних джерел

- Kulik D.A. Lithological and geochemical evidence of Fe and Mn pathways during deposition of Lower Proterozoic banded iron formation in the Krivoy Rog basin (Ukraine) / D.A. Kulik, M.N. Korzhnev // *Manganese Mineralisation: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, Geol. Soc. Spec. Publ. – 1997. – № 119. – Р. 43-80.
- Багрий І.Д. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська / І.Д. Багрий, Ф.М. Білоус, Ю.Г. Вілкул. – К.: Фенікс, 2000. – 110 с.
- Бейзель Н.Ф. Атомно-абсорбційна спектроскопія: учеб. пособие / Н.Ф. Бейзель. – Н.: Новосиб. гос. ун-т., 2008. – 72 с.
- Гринь А. В. Поступление тяжёлых металлов в растения в зависимости от их содержания по миграции / А.В. Гринь, С.К. Ли // Тез. докл. II Всемир. совещ. по миграции загрязнённых веществ в почвах и определённых сферах. – Ленинград, 1980. – С. 46–48.
- Долгова Т.И. Деградация почвенных систем под воздействием пыления, инициируемого предприятиями горнодобывающего комплекса / Т.И. Долгова // *Разработка рудных месторождений*. – 2003. – Вып. 82. – С. 150-159.
- Екоотоксикологічні, гідрохімічні та агрохімічні методи оцінки мінеральних добрив [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.novaecologia.org/voecos-1613-6.html> – Загол. з екрану.
- Жовинський Е.Я. Еколого-геохімічне оцінювання ландшафтів / Е.Я. Жовинський // Навч. посібник "Екогеологія України" [за ред. В.М. Шестопалова]. – К.: ВПЦ "Київський університет". – 2011. – С. 636–656.

8. Изучение тяжёлых металлов в почве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/35489.html> – Загл. з. экрану.

9. Критерії екологічної і геолого-економічної оцінки та мінералогія відходів гірничо-металургійного комплексу Кривбасу / С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Курило та ін. Під заг. ред. М.М. Коржнева. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 228с.

10. Маяков І.Д. Екологічна оцінка стану геологічного середовища / І.Д. Маяков – Нетрадиційні екологічні проблеми Кривбасу [за ред. І.М. Малахова]. – Кривий Ріг, 2001. – 60 с.

11. Перельман А.И. Геохимия ландшафта: учеб. пособие. / А.И. Перельман, Б.С. Касимов. – М.: Астрей, 2000. – 768 с.

12. Хасанов Р.Р. Атомно-эмиссионный спектральный анализ: учеб.-метод. пособие / Р.Р. Хасанов, Р.Р. Хусаинов. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. – 27с.

References

1. Kulik, D.A., Korzhnev, M.N. (1997). Lithological and geochemical evidence of Fe and Mn pathways during deposition of Lower Proterozoic banded iron formation in the Krivoy Rog basin (Ukraine). *Manganese Mineralisation: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, 119, 43-80.

2. Bagriy, I.D., Bilous, F.M., Viluk, G. (2000). Experience in integrated assessment and mapping of factors of technogenic influence on the natural environment of the cities of Kryvyi Rih and Dneprodzerzhinsk. *Phoenix*. [in Ukrainian].

3. Bayzel, N.F. (2008). Atomic absorption spectrometry. Textbook manual. Novosibirsk State University. [in Russian].

4. Grin, A.V., Li, S. K. (1980). The receipt of heavy metals in plants depending on their content for migration. Thesis of the Second World Meeting on Migration of Contaminated Substances in Soils and Certain Spheres, 46-48. [in Russian].

5. Dolgova, T.I. (2003). Degradation of soil systems because of the influence of dust, initiated by enterprises of the mining complex. Development of ore deposits, 82, 150-159. [in Russian].

6. Ecotoxicological, hydrochemical and agrochemical methods of evaluation of mineral fertilizers. URL: <http://www.novaecologia.org/voccos-1613-6.html> [in Ukrainian].

7. Zhovinsky, E.Y. (2011). Ecological-geochemical assessment of landscapes. Textbook "Ecology of Ukraine". K.: Kyiv University, 636-656. [in Ukrainian].

8. Studying of heavy metals in soils. URL: <http://biofile.ru/bio/35489.html> [in Russian].

9. Dovgy, S.O., Ivanchenko, V.V., Kurylo, M.M. et al. (2013). Criteria of ecological and geological-economic assessment and mineralogy of waste from mining metallurgical complex Kryvbas. K.: Nika-Center. [in Ukrainian].

10. Mayakov, I.D. (2001). Environmental assessment of the geological environment. Non-traditional environmental problems of Krivbas. Ed. Malakhov I.M. [in Ukrainian].

11. Perelman, A.I., Kasimov, B.S. (2000). Geochemistry of the landscape. Tutorial. M.: Astrea. [in Russian].

12. Khasanov R.R. (2012). Atomic-emission spectral analysis: Educational-methodical manual. Kazan (Privolzhsky) Federal University. [in Russian].

Надійшла до редколегії 15.12.17

S. Kosharna, PhD student

E-mail: sofiia.kosharna@ukr.net

M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

E-mail: mncorzhnev@google.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasilkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

HEAVY METALS ON TECHNOGENIC OBJECTS OF MINING AND PROCESSING ENTERPRISES OF THE KRYVYI RIG BASIN

The goal of the paper is to determine and explain the patterns of distribution of heavy metals in the territories of ore mining and processing enterprises in Kryvyi Rig and to substantiate the legitimacy of applying the method of semiquantitative atomic emission spectral analysis in such studies.

Methodology. In the course of the study, various methods of spectral analysis (semiquantitative atomic emission and atomic absorption using 0.5 M HCl and 2 M HNO₃) were used in the analysis of soil contamination, and their comparison was made.

Results. The content and distribution of heavy metals in soils at the sites of mining and processing enterprises depends primarily on the share of different sedimentary material in them. These are: material of the weathering crust of granites and rocks of greenstone belts of the Middle Dnieper, as well as rocks of the Kryvyi Rig series; products of iron ore beneficiation at mining and processing enterprises and sediments formed during discharge of highly mineralized mine and industrial waters of enterprises; material of slags and smokes of metallurgical enterprises, introduced by the wind; products of domestic waste treatment. The main sources of heavy metals in the soils of the Kryvyi Rig are slags and smokes of metallurgical enterprises. Such a source cannot be the sludge of processing enterprises because of the low content of impurity elements in iron banded formations, including heavy metals. When heavy metals fall onto the soil, their redistribution occurs under the influence of wind and atmospheric precipitation, with the transfer and accumulation of clay-scale particles, the main concentrators of heavy metals, into the lower places of the relief. In general, this leads to the dispersion of heavy metals in soils.

Scientific novelty. The factors of geochemical migration of heavy metals within the local geochemical arenas of ore mining and processing enterprises are determined.

Practical significance. The educed conformities to law of migration of heavy metals open possibility of more exact prognosis of their distribution in soils on the objects of mining and processing enterprises.

Keywords: heavy metals, geochemical migration factors, local geochemical landscapes, methods of spectral analysis.

C. Кошарная, асп.

E-mail: sofiia.kosharna@ukr.net

M. Коржнев М., д-р геол.-минералог. наук, проф.

E-mail: mncorzhnev@google.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Цель. Определить и объяснить закономерности распределения тяжёлых металлов на территориях техногенных объектов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в Кривом Роге и обосновать правомочность применения метода полуквантитативного атомно-эмиссионного спектрального анализа при таких исследованиях.

Методика. При выполнении исследования при анализе загрязнения почвы были применены разные методы спектрального анализа (полуквантитативный атомно-эмиссионный и атомно-абсорбционный с использованием 0,5М HCl и 2М HNO₃), проведено их сравнение.

Результаты. Содержание и распределение тяжёлых металлов в почвах на объектах ГОК зависит, главным образом, от долевого участия в них разного осадочного материала. Это: материал коры выветривания гранитов и пород зеленокаменных поясов Среднего Приднепровья, а также пород криворожской серии; продукты обогащения железных руд на ГОКах и осадки, сформированные при сбросе высокоминерализованных шахтных и технических вод предприятий; материал шлаков и дымов металлургических предприятий, принесённый ветром; продукты переработки бытовых отходов. Основным источником поступления тяжёлых металлов в почвы в Кривом Роге являются шлаки и дымы металлургических предприятий. Таким источником не могут быть шламы перерабатывающих предприятий из-за низкого содержания в породах железисто-кремнистых формаций элементов-примесей, в том числе и тяжёлых металлов. При попадании тяжёлых металлов в почвы идёт их перераспределение под действием ветра и атмосферных осадков с перенесением и накоплением частиц глинистой размерности – основных концентраторов тяжёлых металлов в низкие места рельефа. В целом, это может приводить к рассеянию тяжёлых металлов в почвах.

Научная новизна. Определены факторы геохимической миграции тяжёлых металлов в пределах локальных геохимических арен техногенных объектов горно-обогатительных комбинатов.

Практическая значимость. Выявленные закономерности миграции тяжёлых металлов открывают возможность более точного прогноза их распределения в почвах на объектах ГОК.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, факторы геохимической миграции, локальные техногенные геохимические ландшафты, методы спектрального анализа.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 504.57

V. Zatserkovnyy, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department

E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE ALGORITHMS
OF SURFACE WATER POLLUTION DIAGNOSTICATION*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)*

The paper presents the following algorithm for the diagnosis of pollution of water objects: the theoretical bases for diagnosing the characteristics of the deterioration of the water objects condition (occurrence of malfunctions) with the deviation of their parameters from the standard ones on the steady or close to the steady (quasi-steady) modes of pollution development and further assessment of the level of risk of occurrence of a dangerous situation, the approval of management decisions on liquidation or minimization of this pollution impact on the ecology of the water object.

The development of effective algorithms of pollution identification at the initial stages of pollution of water resources will enable an assessment of the nature and level of water pollution with the increasing number of chemicals associated with an increase of anthropogenic pressure on water objects. To simulate the processes occurring in the aquatic environment, it is proposed to use the geographic information system (GIS).

The conducted studies indicate that the borders of identification of the initial development of the process of pollution spreading (the occurrence of malfunction) is largely determined by the number of parameters that are measured in the process of diagnosis. The sensitivity of this diagnostic method for the majority of one-dimensional malfunctions is proved.

Keywords: water objects, diagnostics, monitoring, geo-information system, mathematical model.

Introduction. Water quality is a characteristic of water composition and properties, which determines its suitability for a specific type of water use. According to the teachings of V.I. Vernadsky the basis of the modern system assessment of the water quality (drinking, sewage, surface and underground) should be the classifications which contain indicators and criteria of the water composition and its properties (physical, chemical, biological), which are collectively suitable for solving a wide range of problems, connected to the protection of water resources, their use and diversity of types of hydro-economic activities. Such a system must simultaneously answer environmental, hygienic and technological requirements. Very regrettably, today such a system does not exist, mostly because of the complexity of this interdisciplinary task [1].

In assessing the quality of natural waters, three approaches are usually used: physico-chemical, bacteriological and biological, each of which allows you to receive important information, and, when used all together, it is possible to evaluate the aquatic environment from ecological point of view [7].

During physico-chemical evaluation of water quality one determines its transparency, the concentration of suspended particles (turbidity), ionic composition, total mineralization, the presence of organic and nutrient substances, the concentration of dissolved gases, the active reaction of water (pH) and others. These abiotic characteristics are very important, but not sufficient for complete understanding of the aquatic ecosystem condition. More complete information on ecosystem response to pollution can be obtained by analyzing the qualitative and quantitative composition of hydrobionts, the presence or absence in their bodies of substances hazardous to their lives [5].

Biological methods for assessing the quality of water are based on the estimates of the responses of plankton, benthos, macrophytes and fishes to the appearance of chemical substances of mineral and organic origin in the aquatic environment. The level of pollution of water bodies is assessed by the presence or absence of organisms-indicators based on a comparison of species diversity, population size and biomass of the population of polluted and clean zones. During this comparison it is usual to use absolute values and indices of species diversity [6].

The method of assessing the quality of water (as the habitat of hydrobionts) by species composition and indicators of

quantitative development of species-indicators and the structure of groups formed by them is called bioindication. Bioindicators of water quality are organisms, the presence, amount or specifics of the development of which are indicators of natural processes or anthropogenic impacts that change the composition and properties of water as an environment where they exist. With the composition of the flora and fauna of water bodies, the quantitative ratio of their individual representatives it is possible to judge on the degree and nature of pollution and the condition of aquatic ecosystems. The method of bioindication allows evaluating the efficiency of the purification facilities and the distribution of pollution during the transboundary relocation of toxic substances.

Diagnosing the state of water objects is not a trivial task. This is a complex dynamic process.

On any monitoring object (of diagnosis) parameters and characteristics that describe the state of this system change over time.

Under the object of diagnosis one should think about a system that meets two conditions. First, the system can be located in two mutually exclusive and distinct states ("workable" and "disable" that is it satisfies or does not meet certain quality criteria). Secondly, it is possible to define elements (blocks, subsystems), each of which is also characterized by states that can differ and which are determined by the results of inspections.

The diagnostic algorithm is a sequence of tests performed which are included into a diagnostic test and the rules for processing the results of the tests to obtain a diagnosis.

Diagnosis is information about the diagnostic object, which allows assessing the quality of the system or its "malfunction", that is to identify the cause of its non-compliance with certain quality criteria based on the analysis of diagnostic parameters or symptoms.

Symptom is a form of displaying the deviation of the diagnostic parameter from its permissible values.

In order to diagnose the processes taking place at the object of diagnostics (water object), it is necessary to evaluate the changes occurring in it, as well as to predict these changes in conditions of uncertainty and to take effective managerial decisions for them. In addition, changing the parameters of the water system of one level of the hierarchy can appear (affect) due to the change of completely different characteristics of the water system of the second level of the hierarchy.

In the process of searching for new effective methods for diagnosing the status of water resources, it is first of all reasonable to develop algorithms for diagnosing water objects in quasi-steady regimes, when the process of the pollution of the water environment is just starting with some pollutant (malfunction), which worsens the state of a certain water object.

The purpose of the work is to develop theoretical foundations for identifying the characteristics of the deterioration of the state (faults) of water objects with the deviation of their parameters from the "standard" on the steady or close to the steady (quasi-steady) modes of pollution development and further assessment of the level of risk of a dangerous situation, taking management decisions on liquidation or minimization of this pollution impact on the ecology of a water facility.

Analysis of recent research and publications. An important contribution to solving the problem of water quality assessment, drinking water supply at the state level was made by such scientists as A.V. Jacyk, A.M. Tugai, V.J. Melnik, A.K. Zapolsky and many others. The issue of drinking water supply in certain regions was investigated by M.A. Safonov, V.O. Orlov, A.F. Kiselev, V.D. Rud, N.V. Yanko and others. However, the current situation of the quality of water resources indicates the need for further research in this area and is relevant.

Presentation of main material. Ensuring citizens' security and protecting society is one of the most important functions of the state. Unfortunately, Ukraine is currently the most critical region in Europe with anthropogenic pressure, which is several times higher than the average European level [9].

On the territory of Ukraine almost all spectrum of dangerous natural phenomena and processes of hydrogeological and meteorological origin may arise. These include large floods, catastrophic flooding, large snowstorms and ice-colds, hurricanes, tornadoes, squall winds as well.

The end of XX – the beginning of the XXI century is marked by cataclysms that are partially related to the problem of surface water purity – the threat of massive gastric infections, deterioration of the quality of drinking water, reduced bioavailability of surface waters and their self-cleaning ability. Therefore, the problem of clean water in many countries of the world and particularly in Ukraine plays a central role in water protection activities and is very relevant.

The realities of the today's Ukraine have led to the deterioration of the quality of water and the mode of river flow; have turned many rivers into canals and a network of reservoirs and ponds. The development of effective algorithms for pollution recognition at the initial stages of pollution of water resources will enable an assessment of the nature and level of pollution of water with the increasing number of chemicals associated with an increase of anthropogenic pressure on water objects.

In the general case a linear mathematical model of an object of study with the presence of measurement errors can be represented by matrix equations of two types [10]:

$$\bar{Y}_3 = A\bar{X} + \Delta\bar{Y}_3 \quad (1)$$

or

$$\bar{W}_3 = A\bar{X} + \Delta\bar{W}_3, \quad \bar{W}_3 = \bar{Y}_3 - T\bar{S}_3, \quad \Delta\bar{W}_3 = \Delta\bar{Y}_3 - T\Delta\bar{S}_3, \quad (2)$$

where $\bar{Y}_3$ – vector of relative deviations of parameters of the mode of operation of the object of study of dimension $(m \times 1)$

; $\bar{X}$ – vector of relative deviations of the required parameters of the condition of the researched object, control and effects of disturbances of dimension $(n \times 1)$; A – matrix of coefficients of influence of dimension $(m \times n)$; $\bar{S}$ – vector of relative measured perturbing and controlling affects, if

they are not relocated into vector $\bar{Y}$ by means of transformation for a given structure of equations. The dimension of the vector $(v_3 \times 1)$; T – matrix of coefficients of dimension influence $(m \times v_3)$.

The diagnostic model of the studied object of the type (1) is correct to use in the following conditions:

- the diagnostic model takes into account the program of management of the investigated object in the diagnostic mode. In this case if the control affects are measured, then they are introduced into the vector $\bar{Y}_3$, if not measured then they are absent; the deviation of the control parameters is equal to zero;
- there is no rejection of perturbation effects in the diagnostic mode;
- there are no errors in measurements of perturbation effects;
- the characteristics of the reference modules correspond to the nominal characteristics or the identification of the mathematical model with the individual characteristics of the investigated object (phenomenon) is performed, that is, there is no influence on the vector $\bar{Y}_3$ of natural dispersion of the characteristics of the modules of the object (phenomenon);
- there is no reduction of the measured parameters to the standard atmospheric conditions. In the opposite case, when converted to standard atmospheric conditions, the components of the vector $\bar{Y}_3$ will become correlated.

In all other cases, it is necessary to use a diagnostic model (2).

In real modeling conditions the object properties change in a wide range, therefore, in order to ensure the necessary efficiency of the diagnostic system, it is necessary to have a standard of controlled parameters and a matrix of affecting factors at each diagnostic mode for each thematic layer of the system in the appropriate conditions of the study (diagnosis). For this purpose, it is best to use a comprehensive GIS [3]. However, today, the fully-variable multifunctional mathematical model of GIS with all thematic layers in the memory of a computer is not possible due to certain restrictions of these devices.

To diagnose quasi-stationary processes (phenomena) occurring on certain water objects, it is legitimate to use a mathematical model (1). To take into account the accuracy of the measurement of the parameters, the output system (1) is normalized by dividing each i^{th} equation by the corresponding mean-square deviation σ_i which is equivalent to the multiplication of the left matrix equation (1) on the diagonal matrix

$$\sum_y^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sigma_{y_1}} & & & \\ & \ddots & & \\ & & \ddots & \\ & & & \frac{1}{\sigma_{y_m}} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

After rationing and taking into account the measurement errors we:

$$\bar{Z}_3 = \hat{A}\bar{X} + \Delta\bar{Z}_3, \quad \bar{Z}_3 = \bar{Y}_3 + \Delta\bar{Z}_3, \quad (4)$$

where

$$\bar{Z}_3 = \sum_y^{-1}\bar{Y}_3, \quad \bar{Z} = \sum_y^{-1}\bar{Y}, \quad \Delta\bar{Z}_3 = \sum_y^{-1}\Delta\bar{Y}_3, \quad \hat{A} = \sum_y^{-1}A. \quad (5)$$

Vector components $\Delta \bar{Z}_j$ are independent random variables distributed under normal law with zero mathematical expectations and dispersions that are equal to 1, that is

$$Z(\Delta \bar{Z}_j) = N(0,1), \quad \text{cov}(\bar{Z}_i, \bar{Z}_j)_{i \neq j} = 0. \quad (6)$$

While solving the task of diagnosing of water resources condition it is possible to have 2 different situations:

– number of parameters of condition which will be reflected in the measured vector $\bar{Z}_3$, less than matrix rank

$\hat{A}(r \leq n)$. In this case to each combination C_m^v $v = \overline{1, (r-1)}$ of parameters one can put matchable image and solve the task on the basis of theory of images recognition [8];

– number of parameters of technical condition which will be reflected in vector $\bar{Z}_3$, is equal or is of higher rank vs $\hat{A}$ matrix rank. In this case, any combination of parameters of condition C_m^v $v = \overline{n, m}$ will correspond to the entire space of controlled parameters that makes the task unsolvable.

At the same time at the first stage the check of the hypothesis of belonging of the vector with measured parameters to the image of the considered malfunction should be conducted. It is done with the help of the probability estimation criterion. And at the second stage the solution is made only of those subsystems, which, with a given probability (0,95), explain the deviation of the vector of the measured parameters [2].

In order to diagnose the condition of water objects, the probability of simultaneous occurrence of less number of malfunctions is higher than the probability of simultaneous occurrence of a greater number of malfunctions; therefore the task of diagnosing a natural or anthropogenic system is appropriate to be solved by consistent testing of hypotheses with increasing number of malfunctions [4].

In the study of one-dimensional continuous failures the system of equations (1) are converted into a system with one variable, that is, the vector $\bar{X}$ is converted into a scalar $\bar{x}_j$:

$$\bar{Z}_j = \hat{A}_j \bar{x}_j, \quad \bar{Z}_3 = \bar{Z}_j + \Delta \bar{Z}_3, \quad \bar{Z}_3 = \hat{A}_j \bar{x}_j + \Delta \bar{Z}_3, \quad (7)$$

where $\hat{A}_j$ – j^{th} column of matrix $\hat{A}$.

During parameter of technical condition change from $-\infty$ to $+\infty$ the vector $\bar{Z}_j$ varying in size and direction will lie on the straight line, whose position in the space of controlled parameters can be assigned by the vector $\hat{A}_j$ (putting $\bar{x}_j = 1$); that is the images of one-dimensional continuous failures in the space of armed controlled parameters are straight lines passing through the origin of the coordinates. Because of the noisiness of the vector of substitutable parameters the system of equations (7) is incompatible. The degree of incompatibility can be judged by the square J_j of the perpendicular L_j , which is pulled down from the end of the vector $\bar{Z}_3$ to the vector $\hat{A}_j$ (Fig. 1).

If the vector of substitutable parameters $\bar{Z}_3$ is a reflection (cause) of j^{th} malfunction and on this reflection the errors of measurements of the measured parameters of the controlled parameters are imposed, the system of equations (7) is compatible and the square J_j of the perpendicular L_j will depend only on the measurement errors:

$$J_j = L_j^T L_j = \bar{Z}_3^T B_K \bar{Z}_3, \quad (8)$$

$$\text{де } B_K = I_m - \frac{\hat{A}_j \hat{A}_j^T}{\hat{A}_j^T \hat{A}_j}.$$

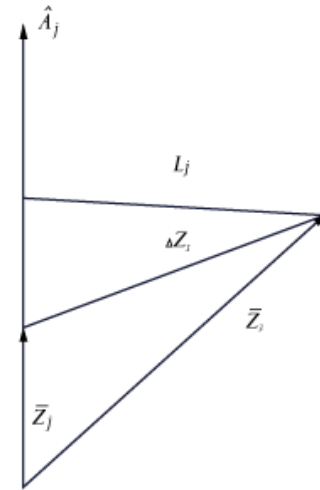


Fig. 1. Graphic interpretation of equation system incompatibility (7) due to noisiness of vector

Taking into account the errors of measurement that were reflected in vector $\bar{Z}_j$, we will get the amount of information that can be distinguished in the following way:

$$\hat{J}_j = \Delta \bar{Z}_3^T B_j \Delta \bar{Z}_3. \quad (9)$$

As shown in the work [9] the properties of matrix B_j and component of vector $\Delta \bar{Z}_3$ are such that quadratic form (9) is divided according to law xi-square with $m-1$ degrees of freedom.

$$Z(J_j) = \chi^2(m-1). \quad (10)$$

For a given probability of identification error α and vector length $\bar{Z}_3$ one can determine the quantile of the distribution $J_{1-\alpha}$ [9]:

$$P\{J_j \leq J_{1-\alpha}\} = 1 - \alpha. \quad (11)$$

Thus the condition of vector $\bar{Z}$ belonging to j^{th} malfunction (condition of compatibility) with probability $(m - \alpha)$ may be put in the following way

$$\tilde{J}_j = \frac{J_j}{J_{1-\alpha}} \leq 1. \quad (12)$$

Thus without solving the system of equation one can obtain the answer to the question whether the measured vector $\bar{Z}_3$ is the product of ion is the j^{th} malfunction.

Then all compatible subsystems are solved. The solution for j^{th} malfunction for which each condition (12) is fulfilled, is carried out according to the formula

$$x_j = \frac{\bar{Z}_3^T \hat{A}_j}{\hat{A}_j^T \hat{A}_j}. \quad (13)$$

In order to determine condition under which vector $\bar{Z}_3$ is a reflection of j^{th} malfunction and will be incompatible with image of k^{th} malfunction, it is necessary to pull down perpendicular L_{jk} from the end of vector $\bar{Z}_3$ onto the image of k^{th} malfunction. In this case the quadratic form

$$J_{jk} = L_{jk}^T L_{jk}, \quad (14)$$

is split according to the law of xi-square with $(m-1)$ degrees of freedom and parameter of non-centrality $\lambda^2 = \bar{Z}_3^T B_k \bar{Z}_3$ [10].

For a given probability of identification error α , with known accuracy of measurements of controlled parameters, it is possible for the given degree of malfunction x_j development to find quantile of breakdown (distribution) $(J_{jk})_\alpha$:

$$P\left\{J_{jk} \leq (J_{jk})_{\alpha}\right\} = \alpha. \quad (15)$$

Vector $\bar{Z}_3$ with probability $1-\alpha$ will not coincide with image of k^{th} malfunction if quantile (15) will be higher than quantile $J_{1-\alpha}$ of breakdown (distribution) (15):

$$(J_{jk})_{\alpha} > J_{1-\alpha}. \quad (16)$$

The smallest magnitude of malfunction $\bar{x}_j$ for which the correlation (16) is valid, will be searched border of diversity j^{th} malfunction in given conditions of diagnosis.

For geometric interpretation of received results let's describe cylinder around image of malfunction $\hat{A}_j$, the surface of which is located at the distance $\sqrt{(J_j)_{1-\alpha}}$. Around the image of malfunction $\hat{A}_k$ the similar cylinder is located the borders of which are at distance $\sqrt{(J_{jk})_{\alpha}} = \sqrt{(J_{jk})_{1-\alpha}}$. The presence of accidental errors of measurement causes the situation when vector of errors $\Delta\bar{Z}_3$ might be rotated to any direction relatively to vector $\bar{Z}_j$ and is not dependent on the

size and direction of vector $\bar{Z}_j$. Having designed the cylinders on the area created by images of j^{th} and k^{th} malfunction we will receive stripes along images of these malfunctions.

We will present the multidimensional space in which the vector $\bar{Z}_3$ is located on the area (square) as a circle with a center at the end of the vector $\bar{Z}_j$ and with radius $\sqrt{(J_j)_{1-\alpha}}$.

On this area we will consider a vector $\bar{Z}_{zp} = \bar{Z}_3$ characterizing one of the worst variants of the measurement and which is a reflection of this malfunction. The end of the vector $\bar{Z}_{zp}$ is on the border of j^{th} malfunction and a circle. At the same time, various variants of the vector $\bar{Z}_{zp}$ location are possible.

Let us consider 3 typical cases. In image 2 vector $\bar{Z}_{zp}$ which is a reflection of j^{th} malfunction will not differ from image k^{th} malfunction, that is vector $\bar{Z}_{zp}$ being in the center of cylinders crossing, may be attributed both to j^{th} and k^{th} malfunction.

On Image 4 a limit case is represented.

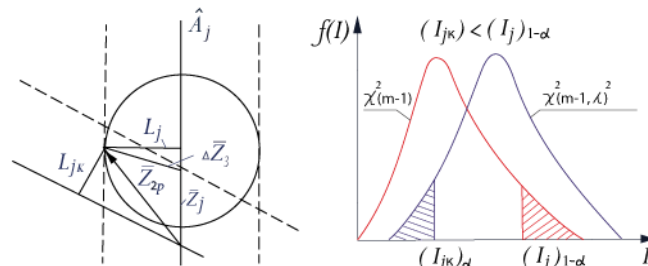


Fig. 2. Graphic interpretation of the indistinguishability of two one-dimensional malfunctions

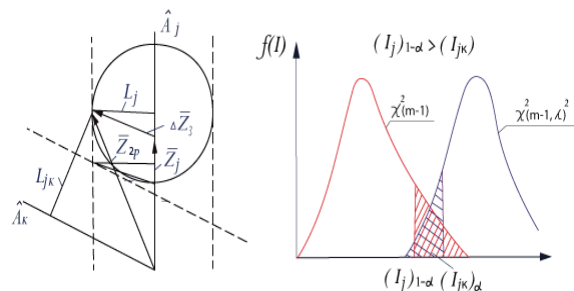


Fig. 3. Graphic interpretation of measured parameters when relate only to k^{th} malfunction

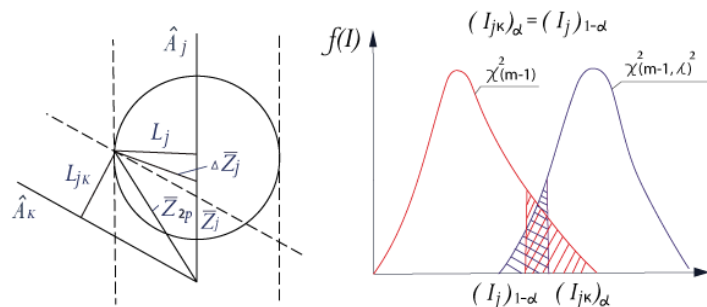


Fig. 4. Graphic interpretation of limit case

The magnitude of the malfunction $\bar{x}_j$ which determines the border of differentiation of j^{th} malfunction when comparing it with k^{th} malfunction for given conditions of diagnosis one can calculate with the formula (8)

$$|\bar{x}_j| = \frac{\sqrt{\psi(m, \alpha)}}{\|\hat{A}_j\| \cdot \left| \sin(\hat{A}_j, \hat{A}_k) \right|}.$$

Conclusions. The conducted studies indicate that the borders of identification of the initial development of the process of spreading pollution (occurrence of malfunction)

are largely determined by a number of parameters that are measured in the process of diagnosis. However, an increase in the number of substitutable parameters for more than 10-12, in terms of malfunctioning, is inappropriate, since it can lead to a significant reduction of the recognition boundaries. Measure 8-10 of the most informative parameters leads to the fact that the borders of identification for majority of one-dimensional malfunctions will not exceed 1% of the degree of their development, which characterizes the sensitivity of this method of diagnosis.

However, the given algorithm, unfortunately, cannot provide an effective diagnosis of water objects for all situations, since many cases of water pollution (malfunctions) are more complex, that is, two- and more dimensional. In addition, it is required to have a number of researches of diagnosing of dynamic processes and phenomena occurring in certain areas.

Список використаних джерел

1. Архипова Л. М. Екологічні аспекти оцінки якості природних вод / Л.М. Архипова // Зб. матер. II Всеукр. з'їзду, Івано-Франківськ, Україна. – Режим доступу: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0028_zb_m_2VZE.pdf.
2. Бортаківський А.С. Линейная алгебра в примерах и задачах / А.С. Бортаківський, А.В. Пантелеев. – М.: Высш. школа, 2005. – 591 с.
3. Водоп'янов В.Е. Оценка распознаваемости одномерных дефектов ГТД при диагностики по газодинамическим параметрам / В.Е. Водоп'янов, В.И. Зацерковный, В.И. Никитин // Тез. докл. науч.-техн. конф. "Теория авиационных двигателей" 28–29 марта 1989 г. – Харьков, 1989. – Вып. 8. – С. 83-87.
4. Геоінформаційні системи в науках про Землю / В.І. Зацерковний, І.В. Тишаєв та ін. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
5. Мокиєнко А.В. Эколого-гигиенические основы безопасности воды, обеззараженной диоксидом хлора: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.02.01 / А.В. Мокиєнко; [Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології" ім. О.М. Марзєєва] АМН України]. – К., 2009. – 28 с.
6. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.

В. Зацерковний, д-р техн. наук, зав. каф. Геоінформатики

E-mail: vitalii.zatsekovnyi@gmail.com

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

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАБРУДНЕНOSTІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

У роботі представлено алгоритм діагностування забруднення водних об'єктів. Розроблено теоретичні основи діагностування характеристик погіршення стану (виникнення несправностей) водних об'єктів при відхиленні їх параметрів від еталонних в сталях або близьких до сталей (квазісталей) режимах розвитку забруднення та наступної оцінки рівня ризику виникнення небезпечної ситуації, ухвалення управлінських рішень щодо ліквідації або мінімізації цього забруднення на екологію водного об'єкта.

Розробка ефективних алгоритмів розпізнавання забруднення на початкових етапах забруднення водних ресурсів дасть можливість оцінки характеру та рівня забрудненості вод зростаючою кількістю хімічних речовин, пов'язаних із посиленням антропогенного навантаження на водні об'єкти. Для моделювання процесів, що відбуваються у водному середовищі, пропонується використовувати геоінформаційну систему (ГІС).

Проведені дослідження свідчать, що границі розпізнавання початкового розвитку процесу поширення забруднення (виникнення несправностей) базато в чому визначаються кількістю параметрів, що замірюються в процесі діагностування. Доведено чутливість даного методу діагностування для більшості одновимірних несправностей.

Ключові слова: водні об'єкти, діагностування, моніторинг, геоінформаційна система, математична модель.

В. Зацерковный, д-р. техн. наук, зав. каф. геоинформатики

E-mail: vitalii.zatsekovnyi@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В работе представлен алгоритм диагностики загрязнения водных объектов. Разработаны теоретические основы диагностики характеристик ухудшения состояния (возникновение неисправностей) водных объектов, при отклонении их параметров от "исправных, эталонных" на стационарных или близких к стационарным (квазистационарных) режимах распространения загрязнения и последующей оценки возникновения опасной ситуации, принятие управленческих решений по ликвидации или минимизации распространения этого загрязнения на экологию водного объекта.

Разработка эффективных алгоритмов распознавания загрязнения на начальных этапах распространения загрязнения водных ресурсов даст возможность оценить характер и уровень загрязнения вод растущим количеством химических веществ, обусловленных усилением антропогенной нагрузки на водные объекты. Для моделирования процессов, происходящих в водной среде, предлагается использовать геоинформационную систему (ГИС).

Проведенные исследования свидетельствуют, что границы распознавания начального развития процесса распространения загрязнения (отклонения от эталонного значения) во многом определяются количеством параметров, которые измеряются в процессе диагностирования. Показана чувствительность данного метода диагностирования для большинства одномерных неисправностей.

Ключевые слова: водные объекты, диагностирование, мониторинг, геоинформационная система, математическая модель.

7. Спирина М.С. Теория вероятностей и математическая статистика / М.С. Спирина, П.А. Спирин. – М.: Академия, 2011. – 352 с.

8. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 414 с.

9. Хільчевський В. К. Порівняльна оцінка якості річкових вод басейну Дніпра / В. К. Хільчевський, В. В. Маринич, В. М. Савицький // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.; Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2002. – Т. 4. – С. 167–169.

10. Яцик А. В. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А. В. Яцик, В. Д. Романенко. – К., 1998. – 28 с.

References

1. Arkhipova, L.M. Environmental aspects of the assessment of the quality of natural waters. Collection of materials of the II All-Ukrainian Congress of Ecologists. Ivano-Frankivsk, Ukraine. URL: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0028_zb_m_2VZE.pdf. [in Ukrainian].

2. Bortakovskiy, A.S., Panteleev, A.V. (2005). Linear algebra in examples and problems. M.: Higher school, 591. [in Russian].

3. Vodop'yanov, V.E., Zatserkovnyi, V.I., Nikityn, V.I. (1989). Estimation of recognizability of one-dimensional defects of GTE in diagnostics by gas-dynamic parameters GTE. Thesis report of scient.-techn. conference: Theory of aviation engines. March 28-29th 1989. Kharkiv, 8, 83-87. [in Russian].

4. Zatserkovnyi, V.I., Tishaev, I.V., Virshylo, I.V., Demidov, V.K. (2016). Geoinformation systems in sciences about Earth. Nizhyn: M. Gogol NSU, 510. [in Ukrainian].

5. Mokienko, A.V. (2009). Ecological and hygienic bases of water safety, decontaminated with chlorine dioxide: abstract. diss. of M.D.: 14.02.01. State institution "Institute of hygiene and medical ecology in the name of O.M. Marseev "Academy of Medical Sciences of Ukraine". Kiev, 28. [in Russian].

6. Snizhko, S.I. (2001). Estimation and prediction of the quality of natural waters. Kiev: Nika-Center, 264. [in Ukrainian].

7. Spirina, M.S., Spirin, P.A. (2011). Probability Theory and Mathematical Statistics. M.: Academy, 352. [in Russian].

8. Too, J., Gonsales, R. (1978). Principles of images recognition. M.: Mir, 414. [in Russian].

9. Khilchevsky, V.K., Marinych, V.V., Savitsky, V.M. (2002). Comparative assessment of the quality of river waters of the Dnipro basin. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. Kiev, Luts: RVV LDTU, 4, 167-169. [in Russian].

10. Yatsyk, A.V., Romanenko, V.D. (1998). Methodology of ecological assessment of surface water quality according to the relevant categories. Kiev, 28. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 16.01.18

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(81)

Комп'ютерна обробка статей – 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.

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.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 11,9. Наклад 300. Зам. № 218-8747.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл2.
Підписано до друку 27.03.18

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