

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib та 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.

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 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, старш. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, старш. 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, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. 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, старш. 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, старш. 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 Миколаша 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"
19 грудня 2018 року (протокол № 7)

Атестовано

Вищою атестаційною комісією України.
Постанова Президії ВАК України
№ 1-05/6 від 12.06.02

Зареєстровано

Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 23534-13374 від 08.08.18

Засновник
та видавець

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
Свідоцтво внесено до Державного реєстру
ДК № 1103 від 31.10.02

Адреса видавця

01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і 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 and 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.), Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; 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.), Assos. Prof.; V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; T. Pastushenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.; T. Mironchuk, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.

Foreign members:

M. Burianyk, Shell Global Solutions International, The Netherlands; L. Vernik, Marathon Oil Company, USA; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; 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
December 19, 2018 (Minutes # 7)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
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

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Квасниця В., Квасниця І. Самородне золото України: передумови створення його кристалогенетичного визначника	6
Деревська К., Ісаєв С., Руденко К., Нурмамедов Л. Літологічні та мінералого-петрографічні особливості еоценових пісковиків північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини	19
Грінченко О., Бондаренко С., Мірончук Т. Гранітоїди, рідкіснометалічні пегматити та Ta-Nb мінералізація Шполян-Ташлицького рудного району (Інгульський мегаблок, Український щит)	24

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О. Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ)	30
Чалий О., Діаконеску М., Гурова І., Лісовий Ю., Пігулевський П., Щербина С., Шевцов А., Шумлянська Л. Причина активної сейсмічності в Україні	38
Розиган Ю., Трипільський О., Тополюк О. Швидкісні характеристики земної кори Коростенського плутону (Український щит) за даними методу глибинного сейсмічного зондування	46
Грищук П. Новий алгоритм інверсії гравітаційних даних	51

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Волков В., Горошкова Л. Проблеми обліку експортно-імпортних операцій добувної галузі України	57
Балега А., Вижва С., Курило М. Інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр: національний вимір і міжнародний досвід	63
Курило М., Бала В. Геолого-економічні критерії промислової цінності вугільних родовищ з незначними запасами	73

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Кошляков О., Диняк О., Кошлякова І., Кошлякова Т. Гідрогеологічні особливості розрахунків стійкості укосів і схилів у межах урбанізованих територій	79
Чарний Д., Шевченко О., Нестеровський В. Склад і властивості мінеральних новоутворень на фільтраційному субстраті при очищенні підземних вод від заліза і марганцю	84

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Зацерковний В., Богословський М. Розробка моделі функціонального стану об'єкта моніторингу для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій	91
---	----

CONTENTS

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Kvasnytsya V., Kvasnytsya I. Native gold of Ukraine, prerequisites for the creation of its crystallogenic determinant	6
Derevska K., Isaev S., Rudenko K., Nurmamedov L. Lithological, mineralogical and petrographical features of eocenic sandstones of north-east part of the Dnepr-Donetsk depression	19
Hrinchenko O., Bondarenko S., Mironchuk T. Granitoids, rare-metal pegmatites and Ta-Nb mineralization of Shpoliano-Tashlyk ore area (Ingul megablock, Ukrainian shield)	24

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabatura O. Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin)	30
Chalyi O., Diaconescu M., Gurova I., Lisovyi Y., Pigylevsky P., Shcherbina S., Shevtsov A., Shumlianska L. The cause of high intensity of seismicity in Ukraine	38
Rozyhan Y., Trypil'skiy O., Topoliuk O. The speed characteristics of the Earth's crust of the Korosten pluton (Ukrainian shield) according to the data of deep seismic sounding method	46
Gryshchuk P. New algorithm for inversion of gravitational data	51

MINERAL RESOURCES

Volkov V., Horoshkova L. Problems of export-import operations accounting in Ukraine's extraction field	57
Balega A., Vyzhva S., Kurylo M. Institutional provision of geological study and use of subsoil: national and international exploration	63
Kurylo M., Bala V. Geological and economic criteria of industrial value of coal deposits with insignificant reserves	73

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Koshliakov O., Dyniak O., Koshliakova I., Koshliakova T. Hydrogeological peculiarities of calculation of scarps and slopes stability within urbanized territories	79
Charny D., Shevchenko O., Nesterovskii V. Composition and properties of mineral non-formations on a filter substrate during treatment of underground water from iron and manganese	84

GEOLOGICAL INFORMATICS

Zatserkovnyi V., Bogoslovskiy M. Evaluation of risks emergencies by modelling the functional status of the objects	91
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Квасница В., Квасница И. Самородное золото Украины: предпосылки создания его кристаллогенетического определителя	6
Деревская К., Исаев С., Руденко К., Нурмамедов Л. Литологические и минералого-петрографические особенности эоценовых песчаников северо-западного склона Днепровско-Донецкой впадины	19
Гринченко А., Бондаренко С., Мирончук Т. Гранитоиды, редкометаллические пегматиты и Ta-Nb минерализация Шполян-Ташлыцкого рудного района (Ингульский мегаблок, Украинский щит)	24

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук В., Онищук И., Рева Н., Шабатура А. Фильтрационно-емкостные особенности пород верхнего карбона (на примере Руновщинской площади ДДВ).....	30
Чалый О., Дяконеску М., Гурова І., Лесовой Ю., Пигулевский П., Щербина С., Шевцов А., Шумлянская Л. Причина активной сейсмичности в Украине	38
Розыган Ю., Трипольский А., Тополук О. Скоростные характеристики земной коры Коростенского плутона (Украинский щит) по данным метода глубинного сейсмического зондирования	46
Грищук П. Новый алгоритм инверсии гравитационных данных	51

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Волков В., Горошкова Л. Проблемы учета экспортно-импортных операций добывающей отрасли Украины.....	57
Балега А., Вижва С., Курило М. Институциональное обеспечение геологического изучения и использование недр: национальное измерение и международный опыт	63
Курило М., Бала В. Геолого-экономические критерии промышленной ценности угольных месторождений с незначительными запасами	73

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Кошляков А., Диняк О., Кошлякова И., Кошлякова Т. Гидрогеологические особенности расчетов устойчивости откосов и склонов в пределах урбанизированных территорий	79
Чарный Д., Шевченко А., Нестеровский В. Состав и свойства минеральных новообразований на фильтрующем субстрате при очистке подземных вод от железа и марганца	84

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Зацерковный В., Богословский М. Разработка модели функционального состояния объекта мониторинга для задач оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.....	91
---	----

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 549/548.283 (477)

В. Квасниця, д-р геол.-мінералог. наук, проф., зав. відділу,
E-mail: vmkvas@hotmail.com

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України,

пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна
І. Квасниця, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

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

САМОРОДНЕ ЗОЛОТО УКРАЇНИ: ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ЙОГО КРИСТАЛОГЕНЕТИЧНОГО ВИЗНАЧНИКА

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

Стисло викладено основні розробки з типоморфізму самородного золота із різноглибинних і різновікових родовищ і запропоновано основи для створення кристалогенетичного визначника самородного золота України. Зібрано й опрацьовано значний геологічний матеріал з більшості відомих проявів золотої мінералізації України і завершено певний етап вивчення кристаломорфології та хімічного складу видимого самородного золота. Охарактеризовано кристали самородного золота із проявів і родовищ на Українському щиті, Донбасі, в Українських Карпатах і Закарпатті. Використано методи дослідження самородного золота: гоніометрія, растрова електронна мікроскопія і мікрозондовий аналіз. Визначено типоморфні ознаки самородного золота з основних родовищ і рудопоясів України, які можна використовувати в практиці прогнозних, геолого-пошукових і розвідувальних робіт на золото. Самородне золото Українського щита віднесено до глибинного зруденіння: Українських Карпат і Донбасу – до середньоглибинного зруденіння і Закарпаття – до малоглибинного зруденіння. Показано, що в Україні, як і в інших золоторудних районах світу, при переході від давнього глибинного і середньоглибинного зруденіння до більш молодого близькоповерхневого зруденіння зростає кількість добре утворених кристалів самородного золота і стає більш складною їхня морфологія, індивіди ізометричного обрису змінюються спотвореними кристалами, зростає роль дендритів і складних двійників, стає нижчою проба золота і зростає його неоднорідність, змінюється склад і концентрація елементів-домішок. Найбільш різноманітною є кристаломорфологія малоглибинного низькопробного самородного золота Закарпаття (Мужіївське родовище, кварц-баритові руди). Унікальними утвореннями тут є п'ятірники кубооктаєдрів самородного золота. Специфікою середньоглибинного і середньопробного самородного золота з деяких рудопоясів Донбасу є ромбододекаедричне огранення його кристалів. Одноманітною є кристаломорфологія високопробного глибинного самородного золота з родовищ і рудопоясів Українського щита. Узагальнено дані досліджень самородного золота з відомих родовищ і рудопоясів України і на цій основі зроблено систематичну класифікацію золоторудних проявів України. Запропоновано макет кристалогенетичного визначника самородного золота України, в якому акцентовано такі основні розділи: 1) мінеральні асоціації самородного золота; 2) хімічно-структурні та інші особливості кристалів золота; 3) морфологія кристалів золота; 4) анатомія кристалів золота; 5) спосіб і механізм росту кристалів золота; 6) типоморфні ознаки кристалів золота; 7) генезис золота. Як приклад наведено кристалогенетичний визначник самородного золота з протерозойських конгломератів Білокоровицької структури на Волинському мегаблоці. Окреслено мінералогічні критерії золотого зруденіння та зроблено деякі загальні висновки щодо генезису, прогнозу і пошуків золотих родовищ в Україні.

Ключові слова: самородне золото, морфологія, хімічний склад, елементи-домішки, внутрішня будова, асоціації, типоморфізм, генезис, критерії.

Вступ. З історичного погляду, у виникненні та розв'язанні проблеми зв'язку кристаломорфологія мінералу – його структура – мінералоутворювальне середовище, що є предметом мінералогічної кристалографії, можна виділити декілька періодів. Починаючи від Н. Стенона та Р. Гаюї й до великих узагальнень з кристалографії мінералів у працях відомих дослідників М.І. Кокшарова, П.В. Єремєєва, А. Шрауфа і В. Гольдшмідта, при вивченні цієї проблеми переважав геометричний підхід. З появою "Царства кристалів" Є.С. Федорова і таблиць Т. Баркера були створені кристаломорфологічні визначники мінералів, які переважно базувалися на теорії внутрішньої гратчастої будови кристалів. Динамічні видозміни природних кристалів, вплив на кристалізацію мінералу навколишнього середовища тоді не сприймалися як можливі головні питання при розв'язанні цієї проблеми. У той час більшість основних робіт в галузі мінералогічної кристалографії ставили своєю метою якнайкраще спростити процес визначення речовини кристала. Проте вже в кінці 20–30-х рр. минулого сторіччя в працях багатьох кристалографів і мінералогів простежується генетичний підхід у зазначеній вище проблемі. Так, на відміну від "Царства кристалів" Є.С. Федорова і таблиць Т. Баркера у "Визначнику кристалів" А.К. Болдирева, у працях Г. Кальба і О.В. Шубникова зроблена спроба врахувати різноманітність форм і габітусів мінералів, не зводячи їх до єдиного ідеалізованого еталона.

У зв'язку з поширенням рентгеноструктурних досліджень, розвитком теорії росту кристалів, інтенсивними роботами із синтезу різних речовин і широким вивченням кристаломорфології мінералів з різних типів родовищ у мінералогічній кристалографії 30–60 рр. минулого сторіччя переважає структурно-генетичний підхід. Це видно з робіт М.В. Белова, І.І. Шафрановського, І. Костова, І. Сунагани, В. Клебера та ін.

Відносно недавній період досліджень у мінералогічній кристалографії можна назвати структурно-генетично-прикладним. Про посилення прикладного напрямку кристаломорфології свідчать роботи І.І. Шафрановського, Д.П. Григор'єва, А.Г. Жабіна, Н.З. Євзикової, М.П. Юшкіна, В.А. Попова, Ч.Д. Джафарова, Р.М. Алієва та ін. Тепер завдяки нагромадженню знань з кристаломорфології багатьох мінералів, необхідним є ще один крок у розвитку мінералогічної кристалографії – у створенні кристалогенетичних визначників мінералів. Основна мета такого визначника – відтворення за кристаломорфологічними даними параметрів мінералоутворювального середовища, тобто форма мінералу має бути використана не тільки як індикатор речовини кристала, а й умов росту і середовища, в якому він виріс. Визначник повинен базуватися на динамічній зміні реальних форм кристалів залежно від різноманітності мінералоутворювальних середовищ. Тому в основу визначника має бути покладений облік різноманітних форм одного й того ж мінералу з усіма відхиленнями від ідеалізованих моделей

з різних конкретних типів родовищ і рудопроявів і розподіл реальних кристалічних форм мінералу в межах певного геологічного тіла. У підсумку визначник повинен мати безпосередній вихід у практику прогнозних, пошукових і геологорозвідувальних робіт, технологію переробки руд і самої мінеральної речовини, у синтез різних речовин, а також служити вдосконаленню теорії росту кристалів.

Наша робота є спробою на шляху створення кристалогенетичного визначника самородного золота України. Досвід вивчення мінералогії самородного золота з відомих родовищ світу показує, що за типоморфними ознаками золота та його мінеральних асоціацій (мінералів-супутників) можна визначати формаційну належність родовищ, місце та умови утворення мінералу в зоні мінералізації, багаті рудні тіла, рівень ерозійного зрізу тощо, тобто визначати генезис мінералу і перспективність його рудопроявів. Особливо важливими в цьому плані є вивчення зовнішньої форми утворень самородного золота, його кристаломорфології й конституції – хімічного складу (пробності), елементів-домішок, неоднорідності структури зерен, які всі разом є певними показниками умов рудоутворення.

Нашими дослідженнями протягом багатьох років було охоплено самородне золото майже з усіх давно відомих і відносно недавно відкритих рудопроявів у межах Закарпатського прогину, складчастих структур Українських Карпат і Донбасу та Українського щита. Основна увага була звернута на морфологію і конституцію самородного золота із цих рудопроявів як найбільш важливих ознак мінералу. Частково ми вивчали і морфологію головних мінералів-супутників золота – піриту і арсенопіриту. Усі отримані результати базуються на кристаломорфологічних дослідженнях декількох тисяч золотин з допомогою методів гоніометрії, растрової й трансмісійної електронної мікроскопії та визначення хімічного складу золота (більше 250 рентгеноспектральних аналізів). Мета роботи – запропонувати основи створення кристалогенетичного визначника самородного золота України на підставі типоморфних ознак самородного золота з різного типу руд, що важливо для визначення його генезису й оцінки перспективності рудопроявів.

Типоморфізм самородного золота з різноглибинних родовищ. Як відомо, самородне золото відкладається з гідротермальних розчинів на різних глибинних рівнях залежно від складу розчинів і середовища мінералоутворення. І хоч залежність форми утворень самородного золота, його внутрішньої будови і складу від умов мінералоутворення проявлена далеко не повністю, усе ж певні ознаки цієї залежності виявлені досить виразно (*Петровская, 1973; Николаева, 1978; Новгородова, 1983; Петровская, 1993*) і можуть бути використані при з'ясуванні генезису ендегенних рудних родовищ і відповідно при прогнозі та пошуку золотого зруденіння. Такі дані також будуть корисні при вивченні золота з розсіпів і при виборі технологій збагачення руд. До них ми відносимо:

1. **Ознаки формаційної належності рудних утворень.** У малосульфідних рудах глибинних родовищ переважає золото пізньої генерації разом із сульфідами міді, свинцю, цинку. Властиві мінливі розміри зерен золота, але часті великі утворення і самородки. Форма зерен золота переважно тріщинна (ксеноморфна), зрідка зустрічаються дрібні багатогранники, дуже прості за формою (табл. 1). Структура агрегатів золота грубозерниста, мозаїчність і зональність зерен проявлені дуже рідко. Проба золота – 900–950 і вище, іноді 800–850. Крім звичайних домішок Fe, Cu, Pb, Zn, у золоті можуть бути Pt, Ni, Ti, Cr, Co, As. Раннє золото дрібне, тонкодисперсне, пов'язане з піритом і арсенопіритом. Золото із

середньоглибинних родовищ за формою від тріщинних до друзових утворень, зустрічаються геміідоморфні кристали, багатогранники, іноді дендритоїди. Проба золота 800–880 із суттєвими відхиленнями, зростає роль домішок Bi, Sn, іноді Hg, Ti. Перша генерація золота асоціює із піритом і арсенопіритом, друга – із сульфідами міді, свинцю, цинку, вісмуту і сурми. Краще проявлені зональність і мозаїчність золотин, а також двійниковання. Для золота із родовищ малих глибин властиві багатогранники, їхні спотворені форми і двійники, дендритні утворення. Добре проявлені мозаїчність і зональність зерен золота, агрегати дрібнозернисті. Проба золота – менше 700, характерні домішки Te, Se, Mn, Hg, Sb.

2. **Індикатори регіональних геохімічних особливостей золотої мінералізації.** Ними можуть бути відносно великі концентрації елементів-домішок у золоті, поширення яких визначає металогенічний фон рудної провінції. Деякі елементи є постійними домішками в золоті, і їхня регіональна змінюваність проявлена лише в їхній концентрації (Ag, Cu, Pb, Zn, Fe), інші елементи зафіксовані в золоті з окремих регіонів чи районів. Зазвичай такі елементи утворюють свої власні геохімічні поля і разом із тим спостерігаються в золотих рудах і в самому золоті (Sn, W, Mo, Ni, Pt, Hg, Bi та ін.). Їхні високі концентрації можуть розглядатися як показники просторового збігу чи близького розташування полів різнотипового зруденіння, що може бути передумовою позитивного прогнозу на золоте зруденіння в регіоні;

3. **Ознаки стадійності рудного процесу.** Тут зазвичай потрібно зіставляти особливості золота і золотоносних мінеральних парагенезисів. Потрібно врахувати таке: а) відносно рівномірний розподіл ультрадрібних кристалів золота в піриті й арсенопіриті властивий для ранньої сульфідної асоціації; б) присутність більш великих утворень золота (різнозернистих) поряд з його дрібними зернами вздовж тріщин свідчить про діяльність другої рудної стадії, з якою пов'язана пізня золотоносна асоціація. Для пізніх генерацій золота характерні домішки Pb, Zn, Bi, Se, Te, які нагромаджуються в кінцевих стадіях рудоутворення. Раннє золото, як правило, більш чисте від домішок;

4. **Показник умов мінералоутворення:** а) форма утворень – тріщинні, інтерстиційні форми, а також прожилки, грудки, скелетні цементацийні різновиди вказують на інтрамінералізаційні деформації під час відкладання золота і також на характер цих деформацій в рудних тілах (однонаправлені тріщини, перехрещення тріщин, ділянки локального подрібнення, зони пластичної деформації, грануляція руд); тобто все це є факторами локалізації золота в рудах і відповідно обґрунтуванням можливої перспективності руд; б) ідіоморфізм утворень золота – його ознаки конвергентні, проте кристалізація золота в порожнинах, гелях і суспензіях виразно виділяється; в) геміідоморфізм утворень золота часто свідчить про лужний характер золотоносних розчинів;

5. **Ознака інтарудних перетворень і післярудного метаморфізму.** При утворенні багатих на золото зон чи рудних стовпів суттєва роль належить перевідкладанню золота. Ознаки перегрупування золота є важливими критеріями оцінки рудних тіл. До них належать: а) утворення тісних золото-кварцових зростків (прожилків, гнізд, лінз і овоїдів), склад яких залежить від складу оточення; б) структури перекристалізації золота із розростанням центральних зерен за рахунок крайових; в) реліктові структури в золоті; г) виникнення зональності в золоті, не пов'язаної з кристалографічними напрямками; д) автоепітаксичні нарости; е) специфічні структури периферійних облямівок, згини двійників, поява площин ковзання. Золотини, які зазнали метаморфізму, часто мають аномалії складу. Вони ж звільняються від домішок, у тому

числі й від срібла. Також характерно збільшення розмірів зерен золота, перетворення дрібних зерен у більш великі утворення золота;

6. **Ознаки вертикальної зональності зруденіння.** До них належать: а) кількість великих золотин і самородків указує на верхні частини багатих на золото тіл, тобто це є основою сприятливої оцінки, у тому числі й глибоких

горизонтів рудних полів, де можливе відкриття промислових, хоча й бідніших руд; б) переважання в рудах тонкодисперсного золота є показником відносно глибокої ерозії родовища за наявності даних про великі золотини з верхів родовища чи з найближчих розсипищ; в) закономірне підвищення з глибиною проби ендегенного золота.

Таблиця 1

Особливості самородного золота залежно від глибини утворення руд

Глибини утворення руд	Морфологія утворень золота	Кристаломорфологія золота	Внутрішня будова зерен золота	Хімічний склад золота	
				Проба	Характерні елементи-домішки*
Великі глибини (3–6 км і більше)	Переважає ксеноморфні утворення, багатогранники рідкісні	Переважає недосконалі октаедри	Однорідна	Висока	Pt, Ni, Ti, Cr, Co, As
Середні глибини (1,5–2,5 км)	Ксено- і геміідоморфні утворення, іноді багатогранники	Досконалі й недосконалі октаедри, ромбододекаедри та ін.	Відносно однорідна	Середня, висока	Bi, Sn, іноді Hg, Ti
Малі глибини (приповерхневі, до 1 км)	Різноманітна: ксено- і геміідоморфні утворення, дендрити і дендритоїди, багатогранники	Багатогранники досконалі; властиве багатство простих форм; часті спотворені індивіди і двійники	Досить неоднорідна	Низька	Te, Se, Mn, Hg, Sb

*Домішки "наскрізні" – Ag, Cu, Pb, Zn, Fe; домішки "регіональні" у зв'язку з металогенічною спеціалізацією – Sn, W, Mo, Ni, Hg, Bi, Pt та інші платиноїди.

Морфологія і конституція самородного золота України. Головні золотоносні області світу тісно пов'язані з елементами глобальної тектоніки – рифтогенними структурами в зонах активних окраїн платформ і у внутрішньоплатформних супракрустальних поясах. Н.В. Петровська (Петровская, 1973; Петровская, 1993) виділила декілька трансконтинентальних зон, золота мінералізація яких розвивалася в різний геологічний час і в межах різних діапазонів глибин.

Територія України розташована в межах двох трансконтинентальних зон, перспективних на золоте зруденіння. Більша її частина (Український щит) належить до Північної мегазони, золоторудні родовища якої формувалися в докембрії й ранньому палеозої (на флангах зони – до мезозою), переважно на великих, зрідка на середніх глибинах. Закарпатський прогин входить до Середньої мегазони, розвиток золотої мінералізації в якій відбувся переважно в кайнозої на малих глибинах. У районах зближення Північної та Середньої мегазон утворювалися як глибинні, так і малоглибинні золоті руди. В Україні з деякою мірою умовності сюди можна віднести Складчасті Карпати і Донбас.

Серед перелічених регіонів України найбільш перспективні на золото Український щит і Закарпатський прогин. Український щит складається із сильно метаморфізованих порід архей-протерозойського віку. З їхніх аналогів на інших континентах добувають значну кількість золота. Закарпатський прогин є фрагментом Карпатського вулканічного поясу, до якого входять золоторудні родовища Румунії, Угорщини і Словаччини. Не менш важливими на золото також можуть бути складчасті структури Карпат і Донбасу.

Усі відомі в Україні рудопрояви та невеликі родовища корінного і розсипного золота можна об'єднати в сім рудних регіонів: Закарпатський, Карпатський, Донецький і на Українському щиті – Волинський, Центральнотроїський, Придніпровський і Приазовський. Вони відрізняються геологічними умовами, глибинами і часом формування золотих руд, їхніми генетичними та мінеральними типами. Нижче наведено узагальнення результатів вивчення самородного золота України, проведеного як нами (Квасниця і Кузнецов, 1977; Квасниця і др., 1977; Квасниця, 1978; Квасниця і др., 1978; Квасниця і др.,

1978; Квасниця і др., 1979; Кузнецов і др., 1981; Щербак, 1990; Квасниця та ін., 1994; Квасниця та ін., 1994; Кравченко і др., 1995; Савин і др., 1995; Ковальчук та Квасниця, 1996; Кравченко і Квасниця, 1996; Галий і др., 1996; Квасниця та Латиш, 1996; Квасниця, 1999; Kvasnytsya, 1999; Квасниця та ін., 2001; Квасниця та ін., 2009; Квасниця і Квасниця, 2010; Квасниця та Квасниця, 2012; Квасниця та ін., 2015), так й іншими дослідниками (Кузнецов і др., 1977; Нечев, 1992; Степанов, 1993; Скакун, 1994; Мудровська, 2000; Бондаренко, 2009; Бондаренко, 2014; Бондаренко та ін., 2015). Головна увага привернута до корінного самородного золота.

Самородне золото Закарпатського прогину. Мінералізація золота в Закарпатському прогині приурочена до горстового підняття донеогенового фундаменту і пов'язана з постмагматичними процесами неогенового ліпарит-андезитового вулканізму. Тут виділяють два рудні райони – Берегівський і Вишківський, у межах яких відомі декілька рудопроявів золота, і Мужівське родовище золота. Останньому притаманна розмаїтість мінеральних типів золотого зруденіння: золото-колчеданно-поліметалічний, золото-поліметалічний, золото-кварц-гематитовий, золото-кварц-барит-каоолініт(дикіт)-гідрослюдистий. Рудні тіла мають різноманітну форму: жили й прожилково-вкраплені зони, штокверки тощо. Золоте зруденіння локалізується в середньому і верхньому горизонтах ліпаритових туфів. Більшість рудних тіл залягає в пірокластичних породах.

Із кристаломорфологічної точки зору особливо цікаве золоте зруденіння, яке пов'язано із зонами інтенсивного метасоматичного заміщення в ліпаритових туфах верхнього горизонту, тобто залягає у верхівці рудоносної товщі, утворюючи штокверки. Самородне золото тут парagenетичне із кварцом і баритом, друзові агрегати яких можна часто спостерігати в порожнинах і тріщинах. Воно асоціює також з каоолінітом, дикітом, гідрослюдами, алунітом, гідроксидами заліза і марганцю, реліктовими сульфідами. Розмір золотин у межах 0,1–10 мм.

Для цього зруденіння характерно багатство форм утворень золота і головне присутність добре обмежених кристалів золота, їхніх зростків, дендритів і дендритоїдів. Більшість кристалів золота є кубооктаедрами з різним ступенем розвитку граней куба і октаедра. Для багатьох

кристалів властиво спотворення обрису: сплюснення індивідів уздовж однієї з осей симетрії третього порядку до утворення гексагональних чи тригональних пластинок, рідше – видовження вздовж двійникової осі. Кубооктаедри ускладнюються тетрагон-триоктаедром і ромбодекаедром. Також трапляються кристали кубічного, октаедричного і тетрагон-триоктаедричного габітусів.

Досить часті незакономірні зростки індивідів золота у вигляді друз і пучків, паралельні зростки та двійники. Поряд із простими двійниками кубооктаедрів за шпінелевим законом трапляються їхні складні циклічні утворення. Гоніометричними та рентгенівськими дослідженнями виявлено, що це п'ятірники кубооктаедрів, здвійникованих також за шпінелевим законом. Двійникові прості форми такого зростку представлено поєднаними псевдоформами п'ятигранних призми й дипіраміди, які насправді відповідають реальним граням куба та октаедра відповідно п'яти комбінаційним багатогранникам. Зовнішня псевдосиметрія п'ятірників близька до L_56P5L_2 . На таких двійниках золота L_5 є псевдовіссю. Розміри п'ятірників досягають 0,5–0,8 мм за видовженням.

Дуже багата морфологія дендритних утворень золота, серед яких переважають плоскі різновиди. Вони досягають довжини 6–7 мм за товщини 0,5–1,5 мм. Габітусними формами індивідів, що становлять дендрити, є також куб і октаедр. Властивим є поєднання добре розвинутого, дуже видовженого стовбура і гілок, що відходять від нього під кутами в 45, 60 чи 90°, які лежать в одній площині. Стовбур і прикореневі частини гілок огранено набагато гірше, ніж їхні вершини. Чим ближче до вершини, тим більш товстими стають деякі гілки. Часто дендритові форми поступово переходять у поліедричні. Серед дендритоїдів трапляються видовжені індивіди із зародковими гілками, а також так звані тріско- і скіпетроподібні утворення. Інтерстиційні ксеноморфні морфологічні утворення властиві золоту із золото-колчедано-поліметалічного, золото-поліметалічного та золото-кварц-гематитового мінеральних типів Мужіївського родовища.

Для видимого і переважно невидимого золота Мужіївського родовища розрізняють такі основні типи золотоносних руд (Скаун, 1994): 1) піритові – розмір золотин – < 0,001–0,05 мм (проба золота 595–800); 2) галеніт-сфалеритові й галеніт-сфалерит-піритові – < 0,001–0,05 мм

(595–780); 3) англезит-кварцові – 0,005–0,1 мм (650–790); 4) кварцові неперекристалізовані – 0,005–0,1 мм (650–800); 5) кварцові перекристалізовані – 0,05–1,0 мм (700–880); 6) глинисто-кварцові – 0,005–1,0 мм (740–880). Вміст вільного золота в цих рудах змінний – від 40 до 90 %, найбільше його в перекристалізованому кварці. У перших трьох типах руд мінералами-носіями золота є пірит, галеніт, сфалерит, англезит і кварц, у трьох останніх – кварц і гетит.

Ксеноморфні дрібні золотини переважають серед його утворень у рудопросях Береги і Квасово Берегівського рудного району. Золото Вишківського району утворює ізометричні й спотворені (пластинчасті) кристали, губчасті та жилкоподібні утворення, дендрити і друзові зростки. Розмір видимих золотин від 0,1 до 1,5 мм.

Видиме золото із Мужіївського родовища і рудопросяв Закарпатського прогину переважно низькопробне (табл. 2). Найхарактерніші домішки в ньому – це срібло, залізо, мідь, ртуть, телур і селен. Внутрішня будова золотин неоднорідна, досить часті прояви зональності, здвійникування (у тому числі полісинтетичного) і дрібнозернистості.

Самородне золото Українських Карпат. В Українських Карпатах розповсюджені давні корінні й різновікові розсіпні рудопросяви золота. Тут відомі декілька рудних районів: Рахівський, Чивчинський, Верховинський, Яблунівський, Перечинський, Нижньоворотський та Чернівецький. У Рахівському та Чивчинському районах знайдено доальпійське золоте зруденіння, що залягає в метаморфічних породах фундаменту – нижньобілопотокського й верхньоділовецького комплексів, які становлять основну частину розрізу на північному заході Мармароського масиву. У межах Українських Карпат більш поширені породи діловецького комплексу, метаморфізовані в умовах зеленосланцевої фації й найбільш сприятливі для золотого зруденіння. Саме в породах цього комплексу майже повсюдно спостерігаються прояви самородного золота (Сауляк, Білий Потік, Великий та Малий Банський, Тукало, Ясенів та ін.) з різним зруденінням: марганцево-рудним, колчедано-поліметалічним, золото-кварцовим і золото-кварц-карбонатним (Степанов, 1993).

Таблиця 2

Хімічний склад самородного золота із рудопросяв Закарпатського прогину

Район, рудопросяв, породи	Проба		Характерні елементи-домішки
	Граничні значення	Найчастіші значення	
Берегівський: Мужіївське родовище; неогенові вулканіти рудопросяв Квасово; кар'єр, розсіпне золото рудопросяв Береги; кар'єр, розсіпне золото	500–880	650, 720, 760	Fe, Cu, Zn, Pb, As, Te, Sb, Hg
	740	740	Fe, Cu, Te
	780–800	780–800	Cu, Pb, As, Sb
Вишківський: рудопросяви Баня і Загадкове; неогенові вулканіти (Щербак, 1990)	500–700	–	–

Два останні типи зруденіння мають найважливіше значення. Їх виявлено в рахівській частині Мармароського масиву. Основна золоторудна мінералізація – це кварцово-жилінне утворення й численні лінзоподібні прошарки. Самородне золото асоціює з піритом, піротином, сфалеритом, галенітом, арсенопіритом, халькопіритом, кварцом, кальцитом, доломітом, анкеритом, гематитом, гетитом, лепідокрокітом, іноді з телуридами свинцю й срібла (алтаїтом і геситом). Самородне золото має розміри переважно 0,25–0,5 мм, іноді до 3,0 мм. Його форма найчастіше ксеноморфна, але трапляються гемідіоморфні золотини і кристали октаедричного й кубооктаедричного габітусів та їхні зростки.

Із розсіпних рудопросяв золота найдавніші виявлено в крейдяних теригенних породах (конгломератах соймульської світи) Мармароської зони (Чивчинський район), більш молоді – у палеогеновому фліші (Нижньоворотський район) і міоценових моласах (конгломератах слобідської світи) Передкарпатського прогину (Яблунівський район), зовсім молоді – у четвертинних відкладах Чивчинського, Верховинського, Яблунівського, Перечинського і Чернівецького районів. Самородне розсіпне золото Карпат переважно дрібне (від 0,1 мм до 1 мм, іноді до 3 мм), воно має ксеноморфну форму і різний ступінь обкатування. Найбільш рудний вигляд має чивчинське розсіпне золото, яке, мабуть пов'язано з корінними ру-

допроявами Мармароського масиву. Для золота Яблунівського району характерно явище автоепітаксії – наростання дрібних кубооктаєдрів золота на ксеноморфні золотини, яке проходило, імовірно, у проміжних колекторах чи вже в самому розсіпу.

Хімічний склад золота Українських Карпат різний (табл. 3). У ньому виявлено багато елементів-домішок. Однак, аналізуючи дані цих досліджень, зазначимо, що, крім Ag, Hg, іноді Cu, Pb, Sb, As, уміст інших домішок часто не перевищує межі похибок рентгеноспектрального методу. Тому слід вважати, що найхарактерніші домішки в карпатському золоті – це срібло, мідь і ртуть. Наявність домішок ртуті в золоті з багатьох районів Українських Карпат дещо несподівана, хоч раніше ртуть у золоті й амальгама золота були зафіксовані в рудопроявах Яблунівського району. Найбільший вміст цього елемента виявлено в розсіпному золоті з алювію р. Білий Черемош (коса Надія). Серед досить високопробного золота із цього розсіпища спостерігаються низькопробні золотини із значним вмістом ртуті (Au – від 46,91 до 59,13, Ag – від 33,73 до 42,62, Hg – від 1,06 до 5,39 мас. %). У високопробному золоті із цього розсіпища також підвищений вміст ртуті (близько 0,46 мас. %). Досить низькопробне золото зустрінуто (потік Маскотин) також у зоні дроблення флішових відкладів рахівської світи (крейда), але ртуть у ньому зафіксована на межі похибки. Виходячи із цих даних, можна зробити припущення щодо існування в Українських Карпатах окремого джерела (альпійського чи

післяальпійського) низькопробного золота. У Чивчинському та Верховинському районах раніше вже знаходили таке золото, притаманне молодим ендегенним утворенням. Помітний вміст ртуті зафіксовано в золоті з інших рудопроявів (Сауляк, розсіпище р. Тур'я та ін.). Можливо, домішка цього елемента має епігенетичне походження, коли на ранні золотовмісні руди могла накладатися пізня рудоносна мінералізація.

Самородне золото Донецького басейну. Мінералізація золота Донецької складчастої області (Нагольний кряж) представлена жильним і прожилково-вкрапленим типом руд у піщано-глинистих породах нижнього карбону. Найкраще в Нагольному кряжі вивчені Бобриківський і Гостробугорський рудопрояви золота. Найчастіше тут видиме золото зустрічається з піритом, арсенопіритом, кварцом і анкеритом.

Форми виділення золота в цих рудопроявах різноманітні, хоч вони визначаються головним чином морфологією тріщин у породах і мінералах. Найчастіше трапляються грудкуваті й пластинчасті золотини, рідше короткостовпчасті й неправильно розвинуті зерна, рідко багатогранники золота. У змінених піщано-глинистих породах зони окиснення трапляється незвичне за формою мереживне золото. За розмірами воно буває від мікронного до міліметрового, як правило, й інше донецьке золото не перевищує 0,2 мм, золотини в 1 мм рідкісні, а в 2–5 мм надзвичайно рідкісні.

Таблиця 3

Хімічний склад самородного золота із рудопроявів складчастої частини Українських Карпат

Район, рудопрояв, породи	Проба		Характерні елементи-домішки
	Граничні значення	Найчастіші значення	
Рахівський, метаморфічні породи: рудопрояв Сауляк рудопрояв Білий Потік	750–930	830, 860, 910	Fe, Pb, As, Hg
	780–950	880, 890, 900, 910	Fe, Cu, Pb, As, Sb, Hg
Чивчинський: конгломерати соймиської світи (крейда); четвертинні відклади	840–950	930, 950	Pb, Sb, Hg
	600–980	860, 910, 930, 950	Cu, Zn, Pb, As, Bi, Te, Sb, Hg
Нижньоворотський: палеогеновий фліш	790–960	910	Cu, Pb, As
Верховинський: четвертинні відклади	600–960	–	Cu, Pb, Bi, Te, Hg
Яблунівський: конгломерати слобідської світи (міocen); четвертинні відклади	920–980	930, 950, 980	Cu, Sb
	880–990	–	–
Перечинський: четвертинні відклади	860–950	910, 930	Cu, Pb, As, Hg

Найбільше багатогранників золота знайдено в Бобриківському рудопрояві. Серед них переважають спотворені ромбододекаедри. На сотні золотин припадає лише 5–10 кристалів із чітким кристалографічним ограненням, ще на 15–20 золотинах розвинуті окремі грані. Більшість кристалів золота знайдено в зоні окиснення й у делювіально-алювіальних відкладах, поодинокі багатогранники виявлено також у пробах гіпогенних руд. Часто ромбододекаедри утворюють неправильні зростки, іноді двійники. Рідкісними формами є октаедр, куб і тетрагексаедр. Перші дві форми ускладнюють ромбододекаедричні за габітусом індивіди. Октаедри золота поодинокі, частіше куб і октаедр зустрічаються на кристалах разом, по чергово виконуючи габітусну роль. Серед кристалів золота з Бобриківського рудопрояву трапляються унікальні кристалографічні утворення. Серед них, наприклад, незакономірний зросток двох індивідів з комбінаційним набором граней різних простих форм. Один із індивідів є комбінацією тетрагексаедра {250}, куба, октаедра і ромбододекаедра. Другий індивід зростку огранений гірше, на ньому розвинуті лише деякі грані куба і тетрагексаедра. Серед багатогранників золота з рудопрояву Гострий Бугор відзначено рідкісні октаедри, кристали з гранями октаедра і ромбододекаедра та гексоктаедр масою 6,57 мг, що виріс у порожнині кристала кварцу.

На особливу увагу заслуговує розсіпне мідисте золото Донбасу, що було виявлено Ю.О. Кузнецовим (Кузнецов и др., 1977) у карбонічних і нижньочетвертинних алювіальних відкладах у сусідніх з Нагольним кряжем районах. Воно має різну форму: пластинчасту, грудкувату, лускату, гачкувату та амебоподібну. Розміри зерен від 0,1 до 1,0 мм, переважають найдрібніші золотини. Ступінь їхнього зносу середній. Джерело цього мідистого золота не виявлено.

За хімічним складом донецьке золото незвичне (табл. 4), крім розсіпного мідистого золота, тут поширено корінне ртутисте золото, характерне для золото-поліметалічних рудопроявів Нагольного кряжу. Для цього золота властива велика розбіжність проби, але переважає золото 800–900 проби. Концентрація ртуті в золоті досягає 1–6 мас. % і не залежить від розміру та морфології кристалів, їхньої проби і мінералу-господаря, що вміщує золото. Ксеноморфне ртутисте золото також трапляється в піриті, арсенопіриті, кварці та анкериті.

Профільне мікрозондування ромбододекаєдрів золота з Бобриківського рудопрояву показало, що срібло і ртуть в об'ємі кристалів поводять себе однаково – периферійні зони індивідів збагачуються ними. Різниця концентрацій срібла в крайових частинах кристалів та їхніх ядрах становить 2–7 мас. % (напр., у ядрі кристала 14–15 мас. % Ag, а на його периферії 19–19,5 мас. %). Вміст

ртуті зростає від центральних (1,2–2 мас. %) до крайових (2,6–2,9 мас. %) зон кристалів. Максимуми та мінімуми срібла і ртуті на концентраційних кривих відповідають зниженням і підвищенням концентраціям золота. Вміст золота в центральних частинах індивідів змінюється від 73 до 83 мас. %, знижуючись у крайових частинах у середньому

на 3–6 мас. %. Спостерігається поступове дещо асиметричне зростання концентрації срібла в напрямку до периферії індивідів. Таким чином, трохи асиметричні, але взаємно компенсуючі концентраційні криві золота і срібла у ромбододекаедрів, а також характер розподілу в них ртуті свідчать про сингенетичну неоднорідність кристалів, тобто про одночасне відкладання золота і ртуті.

Таблиця 4

Хімічний склад самородного золота із рудопроїв Донецького басейну

Район, рудопроїв, породи	Проба		Характерні елементи-домішки
	Граничні значення	Найчастіші значення	
Нагольний кряж: піщано-глинисті породи (нижній карбон); Бобрівський рудопроїв; Рудопроїв Гострий Бугор	< 600–950	800–899	Hg (до 6 мас. %), Fe, Zn, Pb, Cu, Bi, Sb, As, Te
Кальміус-Горецька та Бахмутська котловини, південно-східна частина Донбасу в місці злиття рік Міус і Кринка (Кузнецов и др., 1977): карбонатні і нижньочетвертинні алювіальні відклади	850	—	—
	605–940	820–880, 920, 940	Cu (1,1–39,15 мас. %), Ag (1,2–15,2 мас. %), Fe, Pb, Hg, Sb, As, Bi

Вплив особливостей хімічного складу мінералоутворювального середовища на появу тих чи інших форм загальновідомий. Виходячи із структури золота (гранецентрована кубічна ґратка) головні форми росту його кристалів згідно з їхнім теоретичним значенням становлять такий ряд: октаедр, куб ромбододекаедра, тетрагон-триоктаедр {311} і т.д. Захоплення в процесі росту кристалом домішок може міняти напрямки переважного наростання індивіда, що в підсумку може призвести до появи граней різних простих форм і до зміни габітусу кристалів. На штучно вирощених багатогранниках золота грані ромбододекаедра (габітусні та другорядні) частіше всього розвивалися в умовах їхньої кристалізації із розчинів, що вміщують ртуть. Мабуть і в рудопроївках Нагольного кряжа кристали золота формувалися із збагачених ртуттю золотоносних розчинів.

Самородне золото Українського щита. Рудопроїви золота на Українському щиті мають різний вік і пов'язані з різними породами й рудними процесами. Як було зазначено вище, у цій структурі виділяють чотири великі золоторудні регіони: Волинський, Центральноукраїнський (рудопроїви Майське, Клинці та ін.), Придніпровський (рудопроїви Балка Широка, Балка Золота, Сергіївський, Томаківський та ін.), Приазовський (рудопроїви Сорокінської зони та ін.). Згідно з дослідженнями М.П. Щербака і Д.М. Щербака (Щербак та Щербак, 1993) найбільш продуктивні, з погляду на золотоносність, є пізньоархейські (Балка Золота, Балка Широка та ін.) та ранньопротерозойські (Майське та ін.) етапи ендегенного рудоутворення на Українському щиті. Перші тісно пов'язані з граніт-зеленокам'яними асоціаціями, другі – з гранітами зон активізації.

В архейських породах інших континентів золото зосереджено в жилах і прожилках кварцу, а також у зонах вкращення сульфідів, які іноді просторово місцями розділені. У протерозойському золоті пов'язано із суттєво кварцовими малосульфідними рудними тілами, які часто утворюють подовжені й потужні жильні зони. На відміну від архейського, протерозойське золоте зруденіння групувалося в інших місцях – у крайових частинах платформ і в межах внутрішньоплатформних прогинів, на місці яких виникали складчасті пояси із кислими і середніми за складом інтрузіями. Рудоносні гідротерми тут тісно пов'язані із системами глибинних розломів. Подібна ситуація з архейським і протерозойським золотом і на Українському щиті.

За розмірами серед видимого золота з відомих рудопроїв Українського щита переважають золотини в 0,1–0,4 мм, рідко вони досягають 1–3 мм. Основний морфогенетичний тип самородного золота із цих рудопроїв –

ксеноморфні утворення. Золото займає переважно порожнини, тріщини й проміжки між зернами та кристалами різних мінералів, тобто приймає вимушену форму внаслідок більш пізнього утворення й заповнення вільного простору. Кристалічні форми у вигляді багатогранників трапляються у рудопроївках Ахтове (Нижнє Побужжя), Клинці, Сорокінської зони й особливо в рудопроївці в районі Жовтих Вод. Для останнього характерні дрібні кристали золота (0,1–0,3 мм) у вигляді октаедрів, кубооктаедрів і ромбододекаедрів, які займають місця в тріщинах і порожнинах у кварці. Геміідоморфні утворення золота характерні для рудопроїв Сорокінської зони. На таких золотинах розвинені елементи ксеноморфних та ідіоморфних форм, тобто вони мали деякий час для вільного росту індивідів. Потрібно також зазначити наявність двох генерацій золота (чи стадій золотої мінералізації) у рудопроївці Майське: раннього ксеноморфного і пізнього ксеноморфно-ідіоморфного золота.

За хімічним складом самородне золото цього регіону досить різноманітне, і все ж переважає помірно високопробне і дуже високопробне (табл. 5). Серед характерних домішок у ньому зазначимо мідь, особливо в золоті з Волинського, Центральноукраїнського і Придніпровського регіонів, що вказує на можливі генетичні зв'язки золотого зруденіння з ультраосновними породами. Вважається, що при вмісті міді в самородному золоті більше 3 мас. %, воно пов'язано з гідротермально-метасоматичними утвореннями по ультраосновних породах. Зазвичай вміст міді в самородному золоті в більшості родовищ світу невеликий і часто не перевищує 0,5–1,5 мас. %. Проте знахідки мідистого золота у світі відомі, у тому числі в багатьох рудопроївках Українського щита. Наприклад, у Середньому Побужжі (рудопроїви Демов'ярське, Капітанівське, Голованівське) знайдено золото із вмістом міді від 3,7 до 25,5 мас. % (Нечеев, 1992). Ще більше цієї домішки містять деякі золотини з Томаківського рудопроїву Софіївської структури – від 27,7 до 31,4 мас. % (із вмістом срібла 7,9–15,1 мас. %). При цьому золотини з високим нерівномірним і водночас постійним вмістом міді мають певну морфологію, вони округлі, грудко- і дрогоподібні. На відміну від них пластинчасті більш високопробні золотини (проба 875–900) із цього рудопроїву хоч і містять мідь, але в малій кількості (близько 0,65 мас. %). Отже, золото в даному рудопроївці різне як за морфологією, так і за хімічним складом. Можливо, тут має місце прояв двох його генерацій. Можна лише припустити, що золото багате на мідь більш раннє, а бідне – більш пізнє. Подібну еволюцію хімічного складу – від раннього мідистого до більш пізнього срібlistого – зазначає

С.В. Нечаєв для золота з рудопроявів Середнього Побужжя (Нечаєв, 1992). Як відомо, прояви мідистого золота в земній корі пов'язані з областями активної діяльності основних і ультраосновних магм.

Типоморфізм самородного золота із рудопроявів України. За результатами наших досліджень самородного золота з рудопроявів України і згідно з означеною вище класифікацією Н.В. Петровської рудних родовищ золота за глибинними рівнями їхнього формування (глибинні, середньоглибинні й малоглибинні) більшість золота з рудопроявів Українського щита з деякою мірою

умовності можна віднести до глибинного, золото Нагольного кряжа і деяких рудопроявів у Карпатах – до глибинно-середньоглибинного і золото Закарпаття – до малоглибинного. Українське золото різновікове: архейське і протерозойське на Українському щиті, палеозой-мезозойське в Донбасі, протерозой-палеозойське в Карпатах, кайнозойське в Закарпатті. Розглянемо найбільш характерні ознаки різноглибинного і різновікового золота України. До них ми відносимо особливості морфології, кристаломорфології, внутрішньої будови, хімічного складу золота та його мінеральні асоціації.

Таблиця 5

Хімічний склад самородного золота із рудопроявів Українського щита

Мегаблоки щита	Проба золота	Характерні елементи-домішки
Волинський (Бондаренко, 2009; Бондаренко, 2014; Бондаренко та ін., 2015)	900–950, > 950 і 800–899	Cu
Дністровсько-Бузький	Переважає 900–950, > 950 і 800–899, іноді 600–699 і < 600	Cu, Bi, Sb
Ігулецький	Переважає 900–950 і > 950, іноді 800–899	Cu, Bi, Mo, Se, Fe, Co (?), Ni (?)
Середньопридніпровський (Криворіжжя)	Переважає 900–950 і > 950, іноді 800–899	Cu, Zn, As
Середньопридніпровський (Придніпров'я)	Переважає 900–950 і 800–899, іноді < 600	Zn, Pb, Cu, Bi, Sb, As, Fe, Pt, Mo, іноді Hg
Приазовський	Переважає 900–950 і > 950, іноді < 600	Cu, Mo, Fe, Ni, Co, Sb, As, Pb, Zn, Hg

Морфологія і кристаломорфологія. Серед видимого золота з рудопроявів України трапляються як ідіоморфні утворення – добре огранені кристали, їхні закономірні та випадкові зростки, округлі кристали та індивіди з ознаками скелетного росту, дендрити і дендритоїди, так і домінуючі ксеноморфні утворення – плівки, луски, пластинки, грудко-, крапле-, голко-, дрто- і дендритоподібні й неправильні за формою зерна. Найбільш різноманітна кристаломорфологія малоглибинного золота Закарпаття (родовище Мужіївське, кварц-баритові жили). Індикаторним показником золота із кварц-баритових жил цього родовища є його багатогранники та їхні двійники і дендритні форми. Переважна більшість золотин – це добре огранені кристали, їхні зростки і дендрити, значно менше з неправильною формою. Майже всі кристали є кубооктаедрами із змінним габітусним значенням обох форм. Кристали часто спотворені із сплюсненням уздовж потрібної осі симетрії, рідше – в інших кристалографічних напрямках. Як рідкісні форми кристалів тут відзначено тетрагон-триоктаedr {311}, ромбододекаedr і тетрагексаedr {210}. Кубооктаедри часто утворюють зростки із двох-трьох індивідів і більше, а також двійники за шпінелевим законом. Унікальними є складні циклічні двійники. Різноманітні за формою дендрити – малоглибинного золота. Інша морфологія – у глибинно-середньоглибинного золота з рудопроявів Донбасу та Карпат. Серед пластинчастих і грудко-, дрто- і краплеподібних зерен донецького золота (Бобриківський рудопрояр) багатогранники зустрічаються нечасто. Основна їхня форма – ромбододекаedr. На рідкісних кристалах грані {110} поєднуються із слабо розвиненими гранями куба і октаедра. Інколи ці форми мають габітусне значення, до яких може додаватися тетрагексаedr {250}. Ромбододекаедри золота часто недосконалі, а якщо ізометричні, то дуже дрібні. Трапляються двійники і випадкові зростки ромбододекаедрів. Кристаломорфологія карпатського золота ще бідніша. Недосконалі багатогранники золота знайдено серед гемідіоморфно-ксеноморфного золота з корінних рудопроявів Рахівського рудного району.

Кристали золота тут мають форму октаедра, іноді кубооктаедра. Розсіпне карпатське золото – це переважно ксеноморфні утворення, часто пластинчастої форми, воно добре обкатано. Серед глибинного золота з рудопроявів Українського щита досконалі багатогранники надзвичайно рідкісні. Їх знайдено тільки в рудопроявах біля Жовтих Вод (серед мікроутворень золота) та Ахтове Ахтового?. У своїй більшості золото ксеноморфне, рідше гемідіоморфне, багатогранники його із згаданих вище рудопроявів мають форму октаедра, іноді кубооктаедра і ромбододекаедра.

Результати проведених морфологічних досліджень показали, що частота розвитку простих форм кристалів золота у відомих золоторудних районах України в основному відповідає раніше визначеним рядам таких частот для золота з багатьох родовищ світу. Наскрізною формою його кристалів у різних за генезисом і віком мінеральних утвореннях є октаedr, у більшості випадків він і є габітусною формою. У напрямку від рудопроявів великих глибин до рудопроявів малих глибин кристали золота стають більш складними за формою. При цьому зростає кількість добре огранених кристалів, але водночас індивіди ізометричного обрису змінюються спотвореними кристалами. Поряд із дендритами, ступенем досконалості форм кристалів, неоднорідністю будови і низькою пробою складні двійники-п'ятірники золота виступають типоморфною ознакою близькоповерхневих умов відкладання мінералу. Такі складні двійники золота відомі в малоглибинних родовищах Росії (Нижнє Приамур'я) та Румунії.

Внутрішня будова. Особливості внутрішньої будови золотин розглядаються як важливі генетичні ознаки. Більш великі частинки самородного золота з різних глибин мають неоднакову складну структуру, яка визначається їхньою зернистістю, розвитком двійників, розподілом домішок, наявністю мінеральних включень. За внутрішньою будовою вирізняється закарпатське золото з малих глибин. Його неоднорідний структурний рисунок часто видно на полірованих зрізах золотин навіть без їхньої обробки спеціальними розчинниками – це зональна будова дендритів і кристалів, грубе полісинтетичне

двійникування зерен, міжзернові високопробні прожилки, добре проявлена зернистість золотин. У золоті із середніх і великих глибин згадані ознаки неоднорідності зустрічаються рідше, та все ж спостерігається тонке двійникування, зернистість і релікти високопробного золота. Неоднорідну структуру має розсіпне золото, для нього властиві утворення тонких облямівок високопробного золота на обкатаних зернах.

Хімічний склад. Виявлено деякі закономірності у зміні складу самородного золота і вмісту в ньому елементів-домішок залежно від глибини рудоутворення. Золото з малих глибин переважно низькопробне (600–699) і відносно низькопробне (700–799), із середніх – середньопробне (800–899) і високопробне (900–950), із значних – високопробне (900–950) і досить високопробне (> 950). Тобто як і в багатьох золоторудних родовищах світу в золотих рудопроявах України з переходом від давнього глибинного і середньоглибинного зруденіння до молодого малоглибинного простежено зниження проби золота. Відповідна залежність простежується щодо кількості й вмісту елементів-домішок у золоті: від мінера-

лізації, що була сформована на великих глибинах, до мінералізації на середніх і малих глибинах кількість і особливо концентрація елементів-домішок у самородному золоті зростають.

Мінеральні асоціації. У родовищах і рудопроявах самородного золота України вони також відображають гідротермальні умови його утворення на малих, середніх і великих глибинах. Домінуючі мінеральні асоціації золота в більшості генетичних типів пов'язані із кварцом, де золото, як правило, ксеноморфне. У сульфідах (піриті, арсенопіриті, халькопіриті, галеніті, сфалериті) воно заповнює тріщини в кристалах цих мінералів або кристалізується з ними одночасно. У зоні окиснення самородне золото асоціює з лімонітизованим піритом, де воно залишкове, раніше локалізоване в піриті. Найбільш поширені золото-сульфідна, золото-кварц-сульфідна і золото-кварцова мінеральні асоціації.

У табл. 6 узагальнено дані наших досліджень самородного золота з відомих родовищ і рудопроявів України, і на цій основі зроблена систематика ендегенних золоторудних проявів України.

Таблиця 6

Систематика ендегенних золоторудних проявів і деякі особливості самородного золота України

Геологічні регіони	Рудні формації		Вік золотого зруденіння	Особливості самородного золота		Елементи-домішки
	Формації проявів	Формації руд		Морфологія виділень видимого золота, їхній розмір	Проба золота	
Закарпатський внутрішній прогин	Малих глибин (менше 1,5 км)	Убогосульфідна	Кайнозойський (неогеновий)	Ідіоморфні й спотворені багатогранники, їхні незакономірні зростки, складні двійники, дендрити і ксеноморфні виділення. Розмір золотин 0,1–9 мм	Переважає 600–699 і менше 600	Cu, Fe, Te, Zn, Pb, As, Sb, Hg
Донецька складчаста область (Нагольний кряж)	Великих-середніх глибин (більше 1,5–3,0 км)	Помірно сульфідна	Мезозойський-палеозойський	Ксеноморфні, рідко ідіоморфні (багатогранники та їхні зростки) виділення. Розмір золотин 0,1–5,0 мм	Переважає 800–899, іноді 900–950 і менше 600	Hg, Fe, Zn, Pb, Cu, Sb, As, іноді Te
Українські Карпати (Мармароський масив)	Великих-середніх глибин (більше 1,5–3,0 км)	Помірно сульфідна	Палеозойський-протерозойський	Ксеноморфні, рідко ідіоморфні (багатогранники та їхні зростки) виділення. Розмір золотин 0,1–5,0 мм	Переважає 800–899 і 900–950 іноді менше 600	Cu, Fe, Hg, Bi, Zn, Pb, As, Sb
Український щит	Великих глибин (більше 3 км)	Малосульфідна	Протерозойський та архейський	Ксеноморфні, дуже рідко ідіоморфні виділення. Розмір золотин 0,1–4,0 мм	Переважає 900–950 і більше 950, рідше 800–899, іноді 600–699	Cu, Bi, Mo, Sb, Pb, Zn, Pt, V, Pd, Ni, As, іноді Hg

Макет кристалогенетичного визначника. У викладеному вище наведено обґрунтування кристаломорфологічного аналізу самородного золота і подано фактичний матеріал вивчення морфології й конституції самородного золота України та розглянуто типоморфізм самородного золота. Нижче ми пропонуємо макет кристалогенетичного визначника мінералу на прикладі самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів на Волині (табл. 7, рис. 1–7) (Квасниця та ін.,

2015). Подібний варіант визначника потрібно наповнювати фактичним матеріалом для кожного золоторудного прояву. У макеті акцентовано на такі розділи: 1) мінеральні асоціації самородного золота; 2) хімічно-структурні та інші особливості кристалів золота; 3) морфологія кристалів золота; 4) анатомія кристалів золота; 5) спосіб і механізм росту кристалів золота; 6) типоморфні ознаки кристалів золота; 7) генезис золота.

Таблиця 7

Кристалогенетичний визначник самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів Волині

Показники	Характеристика мінералів
Район, геологічні умови знаходження кристалів (мінеральний комплекс, геолого-тектонічні дані, вік порід і зруденіння, тип мінералоутворювального процесу)	Волинський мегаблок, Білокоровицька палеопротерозойська структура, метаосадові породи білокоровицької світи (конгломерати, гравеліти, пісковики, аргіліти, алевроліти). Осадові породи знаєли метаморфізму в умовах зеленосланцевої фації
Мінеральні асоціації	Убогосульфідна – кварц, пірит. У зростках із самородним золотом: кварц, хлорит, слюда, польовий шпат, кальсиліт, самородна мідь, халькозин, карбонат міді, самородний вольфрам

Закінчення табл. 7

Показники	Характеристика мінералів
Хімічно-структурні, фізичні та термобарогеохімічні особливості мінералів	За хімічним складом золото дуже різне: високопробне, середньопробне, срібliste, зі значною домішкою срібла і міді, а також мідисте. Основними домішками в зернах самородного золота з білокоровицьких конгломератів є срібло і мідь, у багатьох золотинах виявлені домішки заліза (іноді до 3,5 мас. %), в окремих золотинах зафіксовано незначний вміст домішок нікелю і титану. Можна виділити золото із домішками срібла (до 85 % аналізів), золото із домішками міді (до 50 % аналізів) і золото із домішками срібла і міді (до 44 % аналізів). Вміст домішок срібла і міді дуже різний. Найбільше золотин з низьким вмістом срібла – у межах 1–5 мас. %, значно менше золотин із вмістом срібла в межах 6–15 мас. %, проте зустрічається срібliste золото із вмістом більше 21 мас. % Ag і, навіть, 40–44 мас. % Ag. Приблизно така ж тенденція щодо вмісту домішок міді. Більше половини вивчених золотин містять від 1 до 5 мас. % домішок міді, трохи менше золотин із 6–10 мас. % домішок міді й відносно значна частина золотин містить від 11 до 43 мас. % міді
Загальна морфологія	За формою золотин розрізняється первинне, вторинне і біогенне золото. Форма виділень первинного золота переважно ксеноморфна, вторинного золота – часто ідіоморфна, серед біогенного – багато зерен пористого золота і псевдоморфоз по мікроорганізмам. Серед первинного золота багатогранники рідкісні, тоді як серед вторинного золота багатогранники поширені
Теоретичний ряд простих форм золота	Октаedr, куб, ромбододекаedr, тетрагон-триоктаedr {311}
Головні прості форми	Октаedr
Другорядні прості форми	Куб, ромбододекаedr
Типові комбінації простих форм	Октаedr+куб+ромбододекаedr
Габітус кристалів	Октаедричний
Обрис кристалів	Ізометричний і пластинчастий
Скульптура граней	Блокова
Двійники	Двійники і п'ятірники поширені серед вторинного золота
Незакономірні зростки	Поширені серед вторинного золота
Агрегати	Рідкісні серед первинного золота
Скелетні й антискелетні утворення	Скелетні октаедри поширені серед вторинного золота
Автоепітаксичні утворення	Поширені як нарости вторинного золота. Мікророзмірні кристали наростів мають різну форму: від кристалографічно неправильної до ідеальних октаедричних кристалів та їхніх зростків, у тому числі двійників і п'ятірників октаедрів і скелетних октаедрів
Дендритні утворення	Відсутні
Інші особливості кристалів (гранні, реберні і вершинні форми, розщеплений ріст та ін.)	Не виявлено
Псевдоморфози	Зафіксовані псевдоморфози по мікроорганізмах
Розподіл форм кристалів у геологічному тілі та їхні еволюційні ряди	Не з'ясовано
Анатомія	Виявляється хімічна неоднорідність для полірованих зрізів золотин; для зерен кластогенного золота виявлено його типову зональність – периферійна облямівка є більш високопробною
Спосіб і механізм росту кристалів	Вільна кристалізація і пошаровий та блоковий механізми росту для вторинного золота. Перекристалізація для біогенного золота. Виповнення тріщин, порожнин при кристалізації первинного золота, випадки вільної кристалізації рідкісні
Типоморфні ознаки	Збагачення золота домішками міді, зростки золота з мінералами цементу конгломератів, характерні ознаки вторинного і біогенного золота
Генезис	Самородне золото формувалося in situ у цементі білокоровицьких конгломератів і представлено щонайменше двома генераціями: первинним і вторинним золотом. Значна частина самородного золота з конгломератів несе ознаки доростання золотин з утворенням вторинного золота та ознаки для деякої його частини біогенного походження. До перших належать мікро- і нанокристалічні автоепітаксичні нарости самородного золота на його зернах – утворення його мікро-нанобагатогранників. До других, більш рідкісних, належать типові форми пористого золота й особливо псевдоморфози золота – залишки діяльності мікроорганізмів. Імовірно, основна частина самородного золота утворилася в процесі регіонального метаморфізму білокоровицьких осадків, свідченням чому є зростки золота з мінералами цементу конгломератів і домінуюча ксеноморфна форма золотин. Золотини кластогенного золота у конгломератах рідкісні

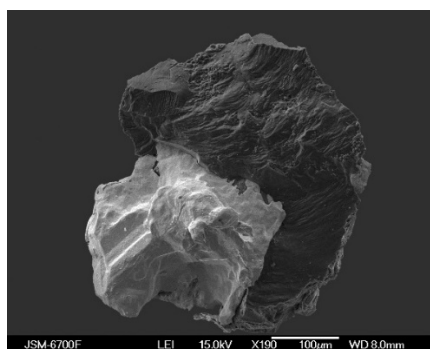


Рис. 1. Зросток самородного золота (світле) і кварцу (темне) із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (Волинський мегаблок).
(Растровий електронно-мікроскопічний – PEM – знімок)

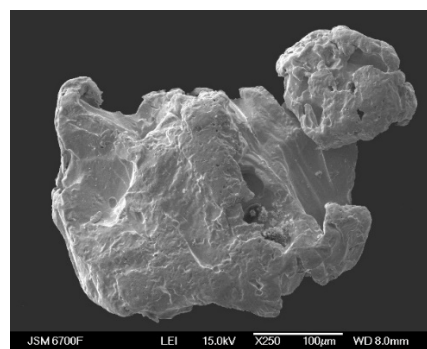


Рис. 2. Ксеноморфне зерно самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (PEM знімок)

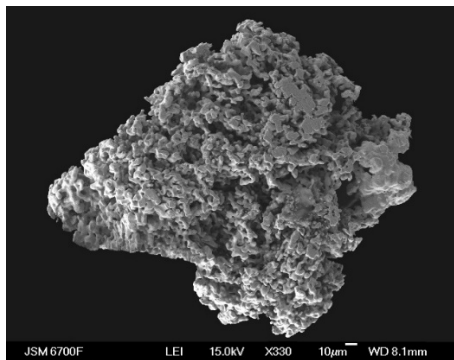


Рис. 3. Зерно самородного золота, яке майже повністю обросло кристалами вторинного самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (справа видна невелика світліша частина первинного золота) (PEM знімок)

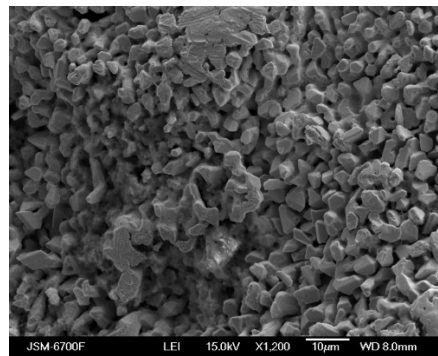


Рис. 4. Мікророзмірні октаедри вторинного самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (PEM знімок)

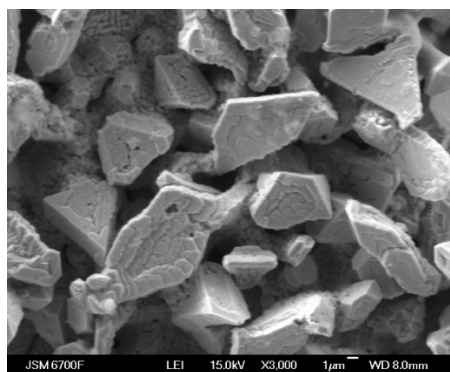
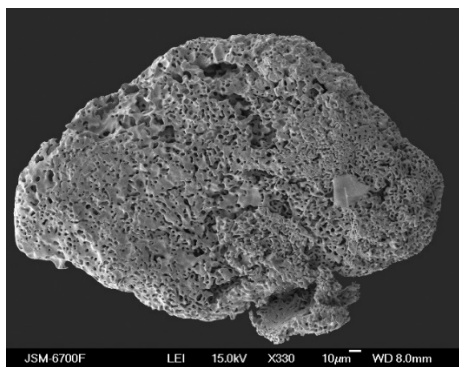
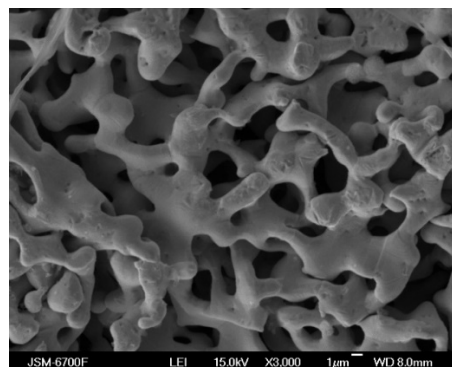


Рис. 5. Мікророзмірні скелетні октаедри вторинного самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (PEM знімок)



а



б

Рис. 6. Зерно біогенного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів: а – зерно золота, б – деталізація поверхні зерна (PEM знімки)

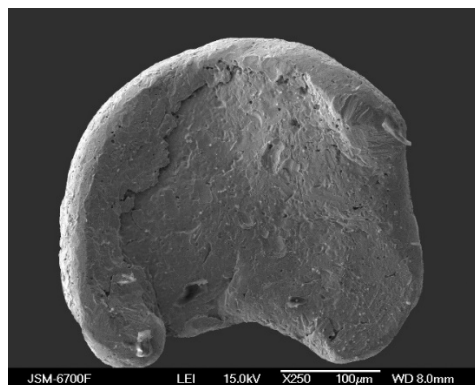


Рис. 7. Обкатане зерно кластогенного самородного золота із палеопротерозойських білокоровицьких конгломератів (PEM знімок)

Висновки. Згідно із запропонованим макетом нами зібрано фактичний матеріал результатів вивчення самородного золота із 25 основних золоторудних проявів України. Це є підставою зробити деякі загальні висновки щодо генезису, прогнозу і пошуків золотих родовищ в Україні:

1. За характером розвитку золоторудної мінералізації в різних геологічних утвореннях України можна виділити як перспективні три основні типи рудних формацій: золото-кварцовий, золото-сульфідно-кварцовий, золото-сульфідний;

2. Морфологія і склад самородного золота характеризує особливості рудоутворювальних процесів (глибинність відкладання руд, умови рудоутворення тощо). Варіації проби золота в окремих випадках можуть визначатися не тільки глибинністю рудоутворення, а й електрхімічними реакціями його відкладання;

3. За морфологією самородного золота можна визначати формаційний тип родовищ, "верхи" і "низи" рудних тіл, місце рудних стовпів, стадії мінералізації тощо;

4. За морфологією мінералів-супутників золота – піриту й арсенопіриту можна визначати перспективність рудних тіл на золотоносність;

5. Системний аналіз типоморфних особливостей сульфідних мінералів із золоторудних родовищ і рудопоявів дає можливість їхнього використання для деталізації рудно-формаційної належності зруденіння;

6. Як мінералогічні пошукові критерії можна використовувати типоморфні властивості піриту (вміст As, відношення Co/Ni, характер провідності, присутність структурних OH-груп тощо), арсенопіриту (відношення Fe/As+S, присутність можливого структурного Au, характер провідності) і кварцу (інфрачервоні спектри, параметри термолюмінесценції, термобарогеохімічні дані).

Отже, нині ми маємо певні відомості про морфологію і конституцію золота з рудопоявів України і вони більш-менш достатні для того, щоб використовувати цю характеристику як можливий критерій походження і прогнозу золотої мінералізації. Майбутніми дослідженнями слід тільки деталізувати морфологічні особливості самородного золота із корінних рудопоявів України, і особливо увагу потрібно звернути на розсіпне золото. Наявна інформація про мінералогію цього золота недостатня для належної оцінки багатьох розсіпів. Щодо хімічного складу українського природного золота можна сказати, що він добре досліджений тільки для окремих родовищ і рудопоявів. Хімічний склад золота із багатьох рудопоявів України вивчено ще недостатньо. Майже зовсім не досліджено внутрішню будову золотин із більшості рудопоявів України, як і мінеральні вclusions в них. Необхідно також спробувати виконати термобарометричні та ізотопні дослідження рудоносних розчинів, що законсервовані в газово-рідких вclusions у кристалах золота.

Вище йшлося про видиме природне золото. Зовсім мало відомо нам про тонкодисперсне золото з багатьох рудопоявів України, яке, власно, може бути корисною копалиною. Результати перелічених майбутніх досліджень важливі для розв'язання проблеми українського золота і вдосконалення критеріїв прогнозу та пошуку його родовищ.

Список використаних джерел

- Бондаренко, С.М. (2009). Золоторудна мінералізація західної частини Українського щита. Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ.
- Бондаренко, С.М. (2014). Мінералізація Au-As типу в докембрійських комплексах Українського щита та головні чинники її локалізації. *Мінерал. журнал*, 36, 1, 59–73.
- Бондаренко, С.М., Сьомка, В.О., Грінченко, О.В. (2015). Ендогенне золото в докембрійських комплексах Волинського мегаблоку (Український щит). *Записки Українського мінералогічного товариства*, 12, 119–131.
- Галій, С.А. Монахов, В.С., Квасниці, В.Н. (1996). Рудно-формаційна систематика і типоморфізм мінералів золоторудних месторождений и проявлений Украины. *Мінерал. журнал*, 18, 4, 91–103.

Квасниці, В.Н. (1978). Сложные двойники многогранников самородного золота. *Докл. АН УССР*, сер. Б, 7, 587–591.

Квасниці, В.М. (1999). Морфогенетична класифікація самородного золота України. *Мінерал. журнал*, 21, 4, 91–98.

Квасниці, В.М., Грицик, В.В., Бондаренко, І.М. (2001). Самородне золото із рудопоявів Квасове і Береги в Закарпатті. *Мінерал. журнал*, 23, 2/3, 5–8.

Квасниці, В.М., Грицик, В.В., Легкова, Г.В., Матковський, О.І., Латиш, І.К. (1994). Про хімічний склад самородного золота Українських Карпат. *Мінерал. журнал*, 16, 3/4, 89–95.

Квасниці В.Н., Квасниці, І.В. (2010). Морфология самородного золота Украины. *Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н. В. Петровской*. Москва: ИГЕМ РАН, 1, 234–236.

Квасниці, В.М., Квасниці, І.В. (2012). Нарис з мінералогічної кристаллографії самородних металів України. *Мінерал. журнал*, 34, 4, 13–22.

Квасниці, І.В., Косовський, Я.О., Мельничук, В.Г., Матеюк, В.В. (2009). Самородне золото Західної Волині. *Записки Українського мінералогічного товариства*, 9, 92–99.

Квасниці, В.Н., Кузнецов, Ю.А. (1977). Кристалломорфология золота из Нагольного кряжа (Донбасс). *Вопросы региональной и генетической минералогии*. Киев: Наук. думка, 63–67.

Квасниці, В.Н., Кузнецов, Ю.А., Латыш, І.К. (1978)1. Кристалломорфология самородного золота из некоторых рудных районов Украины. *Известия АН СССР, сер. геол.*, 8, 73–79.

Квасниці, В.Н., Кузнецов, Ю.А., Легкова, Г.В., Шаркин, О.П. (1978)2. Особенности распределения серебра в многогранниках самородного золота. *Региональная и генетическая минералогия*. Киев: Наук. думка, 2, 40–47.

Квасниці В. М., Латиш І. К. (1996) Самородне золото України. Київ: АртЕК.

Квасниці, В.Н., Латыш, І.К., Литвин, А.Л. (1979). Особенности кристалломорфологии золота Украинских Карпат. *Материалы Комиссии минералогии и геохимии КБГА*. Киев: Наук. думка, 4, 157–162.

Квасниці, В.Н., Маметов, В.М., Лазаренко, Э.А. (1977). Кристалломорфология золота из Закарпатья (Береговский район). *Материалы Комиссии минералогии и геохимии КБГА*. Киев: Наук. думка, 3, 71–78.

Квасниці, В.М., Павлюк, О.В., Вишневський, О.А., Квасниці, І.В., Вишневський, Б.Л., Гурненко, І.В. (2015). Самородне золото із білокоровицьких протерозойських конгломератів Волині. *Записки Українського мінералогічного товариства*, 12, 103–116.

Квасниці, В.М., Підвисоцька, О.П., Легкова, Г.В., Шамина, Т.П., Баглій, В.О. (1994). До питання про мінералогічну природу археологічного золота України. *Мінерал. журнал*, 16, 5/6, 89–96.

Ковальчук, М.С., Квасниці, В.М. (1996). Незвичайний морфологічний тип золота із розсіпища поблизу рудопояву Клинці (Український щит). *Геол. журнал*, 1/2, 169–173.

Кравченко, Г.Л., Квасниці, В.Н. (1996). Золотая минерализация рудопоявления х. Садовый на р. Каратюк (Западное Приазовье). *Доп. НАН України*, 9, 114–118.

Кравченко, Г.Л., Квасниці, В.Н., Бондаренко, С.Н., Бондаренко, І.Н. (1995). Морфология и состав самородного золота Западного Приазовья. *Мінерал. журнал*, 17, 6, 25–35.

Кузнецов, Ю.А., Квасниці, В.Н., Сиденко, О.Г. (1981). Новый тип золоторудной минерализации на юге Украины. *Докл. АН УССР, сер. Б*, 6, 23–26.

Кузнецов, Ю.А., Панов, Б.С., Самойлович, Л.Г., Шаркин, О.П. (1977). Медистое золото Донецкого бассейна. *Вопросы региональной и генетической минералогии*. Киев: Наук. думка, 59–63.

Мудровська, І.В. (2000). Мінералого-генетична модель золотого зруденіння Саврансько-Синицької площі (Український щит). Автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук. Львів.

Нечаев, С.В. (1992). Некоторые особенности проявления золота и серебра в западной части Украинского щита. *Геол. журнал*, 4, 79–88.

Николаева, Л.А. (1978). Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. Москва: Недра.

Новгородова, М.И. (1983). Самородные металлы в гидротермальных рудах. Москва: Наука.

Петровская, Н.В. (1973). Самородное золото. Москва: Наука.

Петровская, Н.В. (1993). Золотые самородки. Москва: Наука.

Савин, Б.М., Квасниці, В.Н., Ширинбеков, Н.К., Савина, Е.Н., Латыш, І.К. (1995). Самородное золото из вторичных кварцитов Желтореченского уран-железорудного месторождения (Криворожский бассейн). *Мінерал. журнал*, 17, 5, 3–9.

Скакун, Л.З. (1994). Мінералого-генетична модель Мужіївського золото-поліметалічного родовища (Закарпаття). Автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук. Львів.

Степанов, В.Б. (1993). Мінералого-геохімічні особливості золотого оруднення в доверхнепалеозойських метаморфічних образованиях Украинских Карпат (Раховское рудное поле). Автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук. Львів.

Шербак, Н.П., Шербак, Д.Н. (1993). Эпохи эндогенного рудопоявления в раннем докембрии. *Геол. журнал*, 1993, 5, 3–11.

Шербак, Н.П. (Ред.). (1990). *Мінерали Украинских Карпат. Простые вещества, теллуриды и сульфиды*. Київ: Наук. думка.

Kvasnytsya, V. (1999). Morphological and chemical characteristics of Precambrian native gold from the Ukrainian Shield. *Abstr. "Gold'99" (Trondheim, Norway, May 1999)*, 110–111.

References

Bondarenko, S.M. (2009). Gold mineralization of the western part of the Ukrainian Shield. PhD Thesis. Kyiv. [in Ukrainian].

- Bondarenko, S.M. (2014). Mineralization of the Au-As type in Precambrian complexes of the Ukrainian Shield and the main factors of its localization. *Mineral. J.*, 36, 1, 59–73. [in Ukrainian].
- Bondarenko, S.M., S'omka, V.O., Grichenko, O.V. (2015). Endogenic gold in Precambrian complexes of the Volyn megablock (the Ukrainian Shield). *Proceedings of the Ukrainian Mineralogical Society*, 12, 119–131. [in Ukrainian].
- Galiy, S.A., Monakhov, V.S., Kvasnitsa, V.N. (1996). Ore formation systematics and typomorphism of minerals of gold deposits and occurrences of Ukraine. *Mineral. J.*, 18, 4, 91–103. [in Russian].
- Kovalchuk, M.S., Kvasnytsya, V.M. (1996). An unusual morphological type of gold from the placer near the Klintsy occurrence (the Ukrainian Shield). *Geol. J.*, 1/2, 169–173. [in Ukrainian].
- Kravchenko, G.L., Kvasnitsa, V.N. (1996). Gold mineralization of the Sadovy occurrence on the Karatyuk River (the Western Azov Sea). *Reports NAS of Ukraine*, 9, 114–118. [in Russian].
- Kravchenko, G.L., Kvasnitsa, V.N., Bondarenko, S.N., Bondarenko, I.N. (1995). Morphology and composition of native gold of the Western Azov Sea. *Mineral. J.*, 17, 6, 25–35. [in Russian].
- Kuznetsov, Yu.A., Kvasnitsa, V.N., Sidenko, O.G. (1981). A new type of gold mineralization in the south part of Ukraine. *Reports NAS of UkrSSR, Ser. B.*, 6, 23–26. [in Russian].
- Kuznetsov, Yu.A., Panov, B.S., Samoilovich, L.G., Sharkin, O.P. (1977). Cu-gold of the Donetsk Basin. *Problems of regional and genetic mineralogy*. Kyiv: Nauk. dumka, 59–63. [in Russian].
- Kvasnitsa, V.N. (1978). Complex twins of native gold polyhedrons. *Reports NAS of UkrSSR, Ser. B.*, 7, 587–591. [in Russian].
- Kvasnytsya, V.M. (1999). Morphogenetic classification of native gold of Ukraine. *Mineral. J.*, 21, 4, 91–98. [in Ukrainian].
- Kvasnytsya, V. (1999). Morphological and chemical characteristics of Precambrian native gold from the Ukrainian Shield. *Abstr. "Gold'99" (Trondheim, Norway, May 1999)*, 110–111.
- Kvasnytsya, V.M., Grytsyk, V.V., Bondarenko, I.M. (2001). Native gold from Kvasove and Beregy ore occurrences in the Transcarpathia. *Mineral. J.*, 23, 2/3, 5–8. [in Ukrainian].
- Kvasnytsya, V.M., Grytsyk, V.V., Legkova, G.V., Matkovsky, O.I., Latysh, I.K. (1994). About the chemical composition of native gold of the Ukrainian Carpathians. *Mineral. J.*, 16, 3/4, 89–95. [in Ukrainian].
- Kvasnitsa, V.N., Latysh, I.K. (1996). Native gold of Ukraine. Kyiv: ArtEK. [in Ukrainian].
- Kvasnitsa, V.N., Latysh, I.K., Litvin, A.L. (1979). Features of crystallography of gold of the Ukrainian Carpathians. *Materials of the Commission of Mineralogy and Geochemistry of the CBGA*. Kyiv: Nauk. dumka, 4, 157–162. [in Russian].
- Kvasnitsa, V.N., Mametov, V.M., Lazarenko, E.A. (1977). Crystallography of gold from the Transcarpathia (Beregovo district). *Materials of the Commission of Mineralogy and Geochemistry of the CBGA*. Kyiv: Nauk. dumka, 3, 71–78. [in Russian].
- Kvasnytsya, I.V., Kosovsky, J.A., Melnychuk, V.G., Matejuk, V.V. (2009). Native gold of the Western Volyn. *Proceedings of Ukrainian Mineralogical Society*, 9, 92–99. [in Ukrainian].
- Kvasnytsya, V.M., Pavlyuk, O.V., Vishnevsky, A.A., Kvasnytsya, I.V., Vysotsky, B.L., Gurnenko, I.V. (2015). Native gold from Bilokorovychi Proterozoic conglomerates of the Volyn. *Proceedings of the Ukrainian Mineralogical Society*, 12, 103–116. [in Ukrainian].
- Kvasnytsya, V.M., Podvysotska, O.P., Legkova, G.V., Shamina, T.P., Bagliy, V.O. (1994). On the mineralogical nature of the archeological gold of Ukraine. *Mineral. J.*, 16, 5/6, 89–96. [in Ukrainian].
- Kvasnitsa, V.N., Kuznetsov, Yu.A. (1977). Crystallography of gold from the Nagolnuy ridge (the Donbass). *Problems of regional and genetic mineralogy*. Kyiv: Nauk. dumka, 63–67. [in Russian].
- Kvasnitsa, V.N., Kuznetsov, Yu.A., Latysh, I.K. (1978). Crystallography of native gold from some ore regions of Ukraine. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Geol.*, 8, 73–79. [in Russian].
- Kvasnitsa, V.N., Kuznetsov, Yu.A., Legkova, G.V., Sharkin, O.P. (1978). Features of silver distribution in polyhedrons of native gold. *Regional and genetic mineralogy*. Kyiv: Nauk. dumka, 2, 40–47. [in Russian].
- Kvasnitsa, V.N., Kvasnytsya, I.V. (2010). Morphology of native gold of Ukraine. *Materials of the Russian conference devoted to the 100th anniversary of N.V. Petrovskaya*. Moscow: IGM RAS, 1, 234–236. [in Russian].
- Kvasnytsya, V.M., Kvasnytsya, I.V. (2012). The essay on mineralogical crystallography of native metals of Ukraine. *Mineral. J.*, 34, 4, 13–22. [in Ukrainian].
- Mudrovskaya, I.V. (2000). Mineralogical and genetic model of gold ores in the Savransk-Synnytsya area (the Ukrainian Shield). PhD Thesis. Lviv. [in Ukrainian].
- Nechaev, S.V. (1992). Some features of gold and silver occurrences in the western part of the Ukrainian Shield. *Geol. J.*, 4, 79–88. [in Russian].
- Nikolaeva, L.A. (1978). Genetic features of native gold as criteria for the search and evaluation of ores and placers. Moscow: Nedra. [in Russian].
- Novgorodova, M.I. (1983). Native metals in hydrothermal ores. Moscow: Nauka. [in Russian].
- Petrovskaya, N.V. (1973). Native gold. Moscow: Nauka. [in Russian].
- Petrovskaya, N.V. (1993). Golden Nuggets. Moscow: Nauka. [in Russian].
- Savin, B.M., Kvasnitsa, V.N., Shirinbekov, N.K., Savina, E.N., Latysh, I.K. (1995). Native gold from secondary quartzites of Zheltorechensky uranium-iron ore deposit (the Krivoy Rog Basin). *Mineral. J.*, 17, 5, 3–9. [in Russian].
- Shcherbak, N.P. (Ed.). (1990). Minerals of the Ukrainian Carpathians. Native elements, tellurides and sulfides. Kyiv: Nauk. dumka. [in Russian].
- Shcherbak, N.P., Shcherbak, D.N. (1993). The epochs of endogenous ore formations in the Early Precambrian. *Geol. J.*, 5, 3–11. [in Russian].
- Skakun, L.Z. (1994). Mineralogical-genetic model of Muzhiivo gold-polymetallic deposit (the Transcarpathia). PhD Thesis. Lviv. [in Ukrainian].
- Stepanov, V.B. (1993). Mineralogical and geochemical features of gold mineralization in Upper Paleozoic metamorphic formations of the Ukrainian Carpathians (the Rakhov ore field). PhD Thesis. Lviv. [in Russian].

Надійшла до редколегії 05.07.18

V. Kvasnytsya, Dr.Sci. (Geol.-Min.), Prof., Head of department,

E-mail: vmkvas@hotmail.com

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine

34 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

I. Kvasnytsya, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,

E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

NATIVE GOLD OF UKRAINE, PREREQUISITES FOR THE CREATION OF ITS CRYSTALLOGENETIC DETERMINANT

The main developments in the typomorphism of native gold from various depth and uneven-aged deposits are described briefly, and the basis for creating a native gold crystallogenic determinant of Ukraine is proposed. A significant geological material for the most known occurrences of gold mineralization in Ukraine was collected and processed, and a certain stage of studying the crystallography and chemical composition of visible native gold was completed. The crystals of native gold from the occurrences and deposits on the Ukrainian Shield, the Donbass, in the Ukrainian Carpathians and the Transcarpathia have been characterized. The methods of native gold studying, such as goniometry, scanning electron microscopy, and microprobe analysis were used. The typomorphic features of native gold from the main deposits and ore occurrences of Ukraine are determined, which can be used in the practice of predictive, geological prospecting and prospecting for gold. The native gold of the Ukrainian Shield is attributed to deep mineralization, the Ukrainian Carpathians and the Donbass - to medium-deep mineralization and the Transcarpathia - to shallow mineralization. It is shown that in Ukraine, as in other gold-bearing regions of the world, the transition from an ancient deep and medium deep mineralization to a younger near-surface mineralization increases the number of well-formed crystals of native gold and their morphology becomes more complex, individuals of isometric form are replaced by distorted crystals, the role of dendrites and complex twins increases, the grade of gold becomes lower and its heterogeneity grows, the composition and concentration of impurity elements change. The crystallography of the shallow low-grade native gold of the Transcarpathia is diverse (the Muzhiivo deposit, quartz-barite ores). Unique crystals here are complex twins of cube-octahedrons of native gold. Specificity of medium-deep medium-grade native gold from some ore occurrences of the Donbass is rhombododecahedral faceting of its crystals. Crystallography of deep high-grade native gold from deposits and ore occurrences of the Ukrainian Shield is monotonous. Research data on native gold from known deposits and ore occurrences of Ukraine are generalized and systematization of endogenous gold ore occurrences of Ukraine is made on this basis. A model of a crystallogenic determinant of native gold of Ukraine is proposed, in which the following main sections are emphasized: 1) native gold mineral associations; 2) chemical-structural and other features of gold crystals; 3) gold crystals morphology; 4) gold crystals anatomy; 5) the method and mechanism of gold crystals growth; 6) typomorphic signs of gold crystals; 7) genesis of gold. As an example, a crystallogenic determinant of native gold from the Proterozoic conglomerates of the Bilokorovychi structure on the Volyn megablock is given. The mineralogical criteria of gold mineralization are outlined and some general conclusions concerning genesis, forecast and searches of gold deposits in Ukraine are made.

Keywords: native gold, morphology, chemical composition, impurity elements, internal structure, associations, typomorphism, genesis, criteria.

В. Квасница, д-р геол.-минералог. наук, проф., зав. отделом,
E-mail: vmkvas@hotmail.com
Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины,
пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, 03680, Украина
И. Квасница, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: ikvasnytsya@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО УКРАИНЫ, ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЕГО КРИСТАЛЛОГЕНЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Кратко изложены основные разработки по типоморфизму самородного золота с разнотипных и разновозрастных месторождений и предложены основы для создания кристаллогенетического определителя самородного золота Украины. Сбран и обработан значительный геологический материал по большинству известных проявлений золотой минерализации Украины и завершен определенный этап изучения кристалломорфологии и химического состава видимого самородного золота. Охарактеризованы кристаллы самородного золота из проявлений и месторождений на Украинском щите, Донбассе, в Украинских Карпатах и Закарпатье. Используются методы исследования самородного золота: гониометрия, растровая электронная микроскопия и микрозондовый анализ. Определены типоморфные признаки самородного золота из основных месторождений и рудопроявлений Украины, которые можно использовать в практике прогнозных, геологопоисковых и разведочных работ на золото. Самородное золото Украинского щита отнесено к глубинному оруденению Украинских Карпат и Донбасса – к среднеглубинному оруденению и Закарпатья – к малоглубинному оруденению. Показано, что в Украине, как и в других золоторудных районах мира, при переходе от древнего глубинного и среднеглубинного оруденения к более молодому приповерхностному оруденению растет количество хорошо образованных кристаллов самородного золота и становится более сложной их морфология, индивиды изометрической формы сменяются искаженными кристаллами, возрастает роль дендритов и сложных двойников, становится ниже проба золота и растет его неоднородность, изменяется состав и концентрация элементов-примесей. Наиболее разнообразна кристалломорфология малоглубинного низкопробного самородного золота Закарпатья (Мужиевское месторождение, кварц-баритовые руды). Уникальными образованиями здесь являются пятерники кубооктаэдров самородного золота. Спецификой среднеглубинного и среднепробного самородного золота из некоторых рудопроявлений Донбасса является ромбододекаэдрическая огранка его кристаллов. Однообразной является кристалломорфология высокопробного глубинного самородного золота из месторождений и рудопроявлений Украинского щита. Обобщены данные исследований самородного золота из известных месторождений и рудопроявлений Украины, и на этой основе сделана систематика эндогенных золоторудных проявлений Украины. Предложен макет кристаллогенетического определителя самородного золота Украины, в котором акцентированы такие основные разделы: 1) минеральные ассоциации самородного золота; 2) химико-структурные и другие особенности кристаллов золота; 3) морфология кристаллов золота; 4) анатомия кристаллов золота; 5) способ и механизм роста кристаллов золота; 6) типоморфные признаки кристаллов золота; 7) генезис золота. В качестве примера приведен кристаллогенетический определитель самородного золота из протерозойских конгломератов Белоковичской структуры на Волынском мегаблоке. Указаны минералогические критерии золотого оруденения и сделаны некоторые общие выводы относительно генезиса, прогноза и поисков золотых месторождений в Украине.

Ключевые слова: самородное золото, морфология, химический состав, элементы-примеси, внутреннее строение, ассоциации, типоморфизм, генезис, критерии.

УДК 552.5:549.2

К. Деревська, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: zimkakatya@gmail.com

С. Ісаєв, д-р хім. наук, проф.,

E-mail: nezruch@ukr.net

Національний університет "Києво-Могилянська Академія"

вул. Сковороди, 2, м. Київ, 04070, Україна

К. Руденко, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,

E-mail: rudenkoksensiiav@gmail.com

Л. Нурмамедов, зберігач фондів

Національний науково-природничий музей НАН України

вул. Б. Хмельницького, 15, м. Київ, 01601, Україна

ЛІТОЛОГІЧНІ ТА МІНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕОЦЕНОВИХ ПІСКОВИКІВ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО СХИЛУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

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

Авторами проводились дослідження в межах наукового супроводу об'єктів Геологічного заказника "Камінські пісковики", який увійшов до складу регіонального ландшафтного парку "Сеймський". На правобережжі річки Сейм (поблизу місця впадіння в неї річки Клевень) розташовані виходи кварцитоподібних пісковиків площею близько 3 га, (вік яких за вмістом фауни раніше був визначений як еоценовий). У геологічному відношенні дана територія приурочена до північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини в зоні впливу Воронежського масиву. Метою роботи стало визначення літогенетичних і мінералогічних особливостей еоценових пісковиків. Палеогенові піски зазнали післяседиментаційних перетворень. Літогенетичні дослідження осадових порід доводять, що пісковики утворились в умовах термального катагенезу (за температури близько 150–175 °С). Окремі ділянки породи (кварцовий цемент, ділянки крустифікації) сформувалися за рахунок часткового розчинення зерен кварцу за нових геохімічних і термальних умов (за температури близько 200 °С). Викладено результати мінералого-петрографічного дослідження кварцитоподібних пісковиків і показано, що формування самородного заліза в пісковиках, які зазнали термального катагенезу, може відбуватися внаслідок гідротермального процесу, електрохімічної реакції або в умовах відновлення в осадовому басейні.

Ключові слова: літогенез, термальний катагенез, самородне залізо, бучацька світа, еоценові пісковики, осадовий басейн.

Стаття є продовженням публікацій, присвячених питанням еволюції речовинного складу осадових формацій платформного чохла та окресленням їхніх стадій і типу літогенезу як одному з фундаментальних напрямів сучасної літології.

У межах північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на правобережжі річки Сейм (поблизу місця впадіння в неї річки Клевень, с. Камінь) розташовані виходи на поверхню кварцитоподібних пісковиків площею близько 3 га, вік яких за вмістом фауни визначено як еоценовий (Шапіро і др., 1970). Виходи пісковиків біля с. Камінь досліджувалися геологами в різні часи (Бондарчук, 1960; Бондарчук, 1949; Шапіро і др., 1970 тощо). У 1980 р. названий геологічний об'єкт організовано в Геологічний заказник "Камінські пісковики". У 1995 р. він увійшов до складу Регіонального ландшафтного парку (РЛП) "Сеймський".

У 27 км на північний схід від названих утворень за межами парку розміщується Баницький кар'єр кварцитів (с. Баничі, Сумська обл.) площею близько 20 га, де ведеться видобуток кварцитоподібних пісковиків. Розробка кар'єру розпочалася в 1890 р., а з 1926 р. об'єкт працює як промислове підприємство.

Пісковики і кварцити бучацької світи вперше описані В. Єрофєєвим у 1847 р. Сучасні дослідження технологічних властивостей метапісковиків Баницького кар'єру проводились В.Л. Зубовим (2004) у зв'язку з визначенням характеристик породи для використання як шихти при отриманні феросиліцію (Зубов, 2004). За своїми характеристиками (вміст двоокису кремнію у породах сягає в окремих випадках 99 %) метапісковики використовуються при виробництві високосортного кристалічного кремнію та високоякісних феросплавів на алюмінієвому та металургійному комбінатах України, а також вогнетривів. Крім того, Баницький кар'єр постачає будівельний щебінь, побутовий камінь і відсів для будівництва.

Метою роботи стало визначення літогенетичних і мінералогічних особливостей палеогенових пісковиків і можливого генезису вкрапленої рудної мінералізації. У статті представлено аналіз мінералогічних, геохімічних і петрографічних досліджень бучацьких метапісковиків у

межах наукового супроводу геологічного пам'ятника "Камінські пісковики".

Методи досліджень. Для визначення мінералого-петрографічних особливостей пісковиків бучацької світи та утворення в них рудних мінералів (самородне залізо) було відібрано зразки, виготовлено шліфи та аншлифи. Мінералого-петрографічні дослідження проводились нами в лабораторії ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка. Дослідження рудних включень проведено за допомогою методу енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS) і отримано якісний та кількісний склад зразка. Хімічний склад, а також електронно-мікроскопічне зображення у відбитих електронах зроблено на мікроаналізаторі JXA-733 фірми JEOL в Інституті геохімії, мінералогії й рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України. EDS-аналіз включення провели канд. геол. наук С. Курило і А. Гірич.

Коротка геологічна характеристика району досліджень.

У геологічному відношенні дана територія приурочена до північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) і розташована в зоні впливу південно-західного схилу Воронежського кристалічного масиву. На північно-східному борту западини поверхня фундаменту занурюється в південно-західному напрямку. За геофізичними даними схил поверхні нерівномірний. У межах території встановлюється позитивна гравітаційна аномалія з інтенсивністю 6–26 мГл і магнітні аномалії з високою інтенсивністю (Шапіро і др., 1970; Шапіро, 1990).

У геологічній будові території беруть участь два структурні поверхи – докембрійський кристалічний фундамент і осадовий чохол потужністю від 300 до 1500 м. Осадові породи представлені відкладами палеогену, які залягають на крейді. Палеоген презентований палеоценовими, еоценовими та олігоценовими відкладами, які частково перекриваються неогеновими або четвертинними утвореннями, а також виходять на поверхню і встановлюються в долинах річок (рис. 1, 2). Детальну характеристику відкладів палеогену надано в пояснювальній записці до геологічної карти 1970 р. (Шапіро і др., 1970), а також у звіті А.П. Шапіро (Харків, 1990 р.) (Шапіро, 1990).

© Деревська К., Ісаєв С., Руденко К., Нурмамедов Л., 2018

Система	Відділ	Ярус	Індекс	Потужність, м	Характеристика порід
Неогенова	Пліоцен			16	Глини сірувато-зелені, бурі, плямисті. Піски світло-сірі та сірі, глинисті
	Міоцен-пліоцен			10	Світа строкатих глин
	Міоцен			15	Верхній горизонт. Піски світло-сірі та строкаті, каоліністі. Спорово-пилкові комплекси характерні для верхнього міоцену.
				52	Нижній горизонт. Глини, піски вуглисті, місцями буре вугілля. Спорово-пилкові комплекси характерні для нижнього-середнього міоцену
Палеогенова	Еоцен-олігоцен			7	Київські - харківські шари (?). Глини та піски зеленувато-сірі, глауконітові
	Еоцен			14	Бучацькі шари. Піски світло-сірі та озалізовані, у нижній частині зеленуваті; місцями лінзи кварцитів з <i>Nemocardium parile</i> Desh., <i>Cassidaria nodosa</i> Sol. та ін.
				13	Канівські шари. Піски зеленувато-сірі, глауконітові, прошарки пісковиків з <i>Nucula proava</i> Wood., <i>Aporrhais sowerbyi</i> Man. та ін.
	Палеоцен			3	Лузановські шари. Опоки плитчасті, в основі фосфоритові галечники
				9	Сумські шари. Опоки масивні, темно-сірі, плямисті, інколи вапняковисті з <i>Cibicides lectus</i> Vass.
Крейдова	Верхній	Маастрихтський		54	Крейда з прошарками мергелей крейдоподібних з <i>Heterostomella foveolata</i> (Marss.), <i>Bolivina incrassata</i> Reuss, <i>Reussella minuta</i> (Marss.), <i>Anomalina ekblomi</i> (Brotz.) та ін.

Рис. 1. Літолого-стратиграфічна схема крейдових, кайнозойських дочетвертинних відкладів (побудовано з використанням (Шапиро та Семенов, 1969))

Четвертинні відклади представлені континентальними утвореннями флювіогляціального, алювіального, алювіально-озерного, озерно-льодовикового, еолового, еолово-делювіального і делювіального походження.

У геоморфологічному відношенні територія досліджень приурочена до долини р. Сейм (у межах України). Прохідна долина Сейму має широкую, витягнуту в субширотному напрямку форму, в якій добре визначаються до п'яти розвинутих терас. Долина має асиметричну будову. Геологічний розріз третьої тераси долини Сейм (потужністю до 30 м), який вперше досліджувався В.Г. Бондарчуком (Бондарчук, 1949) поблизу м. Ворожба, в основному представлений товщею світлих алювіальних пісків з поодинокими черепашками молюсків; вище відклади перекриті глинами льодовикового походження з прошарками і лінзами морени різного розміру і літологічного складу; вище за розрізом спостерігається шар лесоподібних суглинків і лесів.

На західній окраїні с. Мутин виділяються моренні відклади (зведений розріз потужністю близько 20 м), які були розкриті при видобутку глини для цегельного заводу (видобуток припинився у 70-х рр. XX ст.). Тут сформувався так званий рельєф техногенного походження з вертикальними схилами. Серед долини між старицями і сучасним руслом р. Сейм установлюються піщані пагорби з нерівномірними схилами (вірогідно, алювіально-еолового походження – озерні дюни).

Основна частина. Бучацька світа в межах північно-східної окраїни ДДЗ (Сумська обл.) складається з неоднорідних піщаних порід. Порооди бучацької світи забарвлені в жовтуватий та буруватий тони, зустрічаються білі та світло-сірі різновиди. Серед пісків бучацької світи зрідка зустрічаються прошарки глини, алевролітів і кварцових пісковиків. Кварцові пісковики, зокрема, поширені в Глухівському (с. Баничі) та Кролевецькому (с. Камінь) районах області. Потужність бучацької світи змінюється від кількох метрів до 40-50 м.

Теригенні породи, які досліджуються, представлені світло-сірими кварцитоподібними дрібнозернистими пісковиками бучацької світи. За макроскопічним описом у пісковикі

виділяються три зони: білого кольору з приховано-зернистою структурою; світло-сірого кольору з дрібнозернистою структурою; рожево-білого кольору із середньозернистою структурою. До другої ділянки приурочено зерно металевого (темно-сірого з металевим блиском) кольору, яке попередньо було визначено як самородне залізо.

Ділянка приховано-зернистої білої частини кварцито-подібного пісковика (рис. 3) представлена мономінеральною кварцовою породою, добре сортованою, яка на 98 % складається з обкатаних зерен кварцу, розміром 0,25–0,4 мм. Включення – акцесорні й рудні мінерали (до 2 %).

У результаті літолого-стадіального аналізу осадових порід визначено, що пористість пісковиків не перевищує 10 %. Відсутність орієнтації зерен та їхній високий ступінь обкатаності вказує на повільне відкладання теригенного матеріалу в межах шельфу, а щільність породи і морфологія цементу вказують на перетворення за підвищеної температури (Бондарчук, 1949; Бондарчук, 1960; Клубова і др., 1986; Деревська, 2008). Головним цементуючим мінералом виступає кварц. На знімках видно, що окремі зерна кварцу добудовані до кристалографічних форм, які вони втратили під час транспортування (див. рис. 2).

Між зернами кварцу та регенераційною каймою встановлюється тонка мінеральна плівка, а стінки пор пісковика в приховано-зернистій частині вільні від глинистих мінералів. Асиметрична регенерація, безцементна цементация та крустифікація кварцових зерен сприяла створенню жорсткого каркасу і ущільненню пісковиків з утворенням кварцито-подібних ділянок.

Мінералого-петрографічні дослідження дозволили визначити, що ділянка дрібнозернистої світло-сірої частини кварцито-подібного пісковика (рис. 4) вирізняється присутністю гідроксидів заліза, рудних і акцесорних мінералів (циркон, монацит), а також глинистої (ілітової) речовини у складі цементу. Кількість порового цементу в окремих ділянках не перевищує 15 %.

Аналіз послідовності формування мінералів групи кварцу та їхня морфологія вказують на те, що: 1) регенераційний кварц формувався за умов катагенезу (стиснення за темпе-

ратури близько 150–175 °С; 2) кварцовий цемент (крустифікація зерен) формується за рахунок часткового розчинення зерен кварцу за нових геохімічних і термальних умов катагенезу (за температури близько 200 °С) (Деревська, 2008).

Мінералогічні дослідження пісковиків дозволили виявити поодинокі зерно сталеві-сірого кольору, неправильної видовженої форми з металевим блиском розміром

близько 1 мм у довжину, яке було визначено як самородне залізо (табл., рис. 5). У опублікованій науковій літературі інформація щодо знахідок самородного заліза в пісковиках бучацької світи еоцену зони членування Воронезького кристалічного масиву і ДДЗ не зустрічалась.

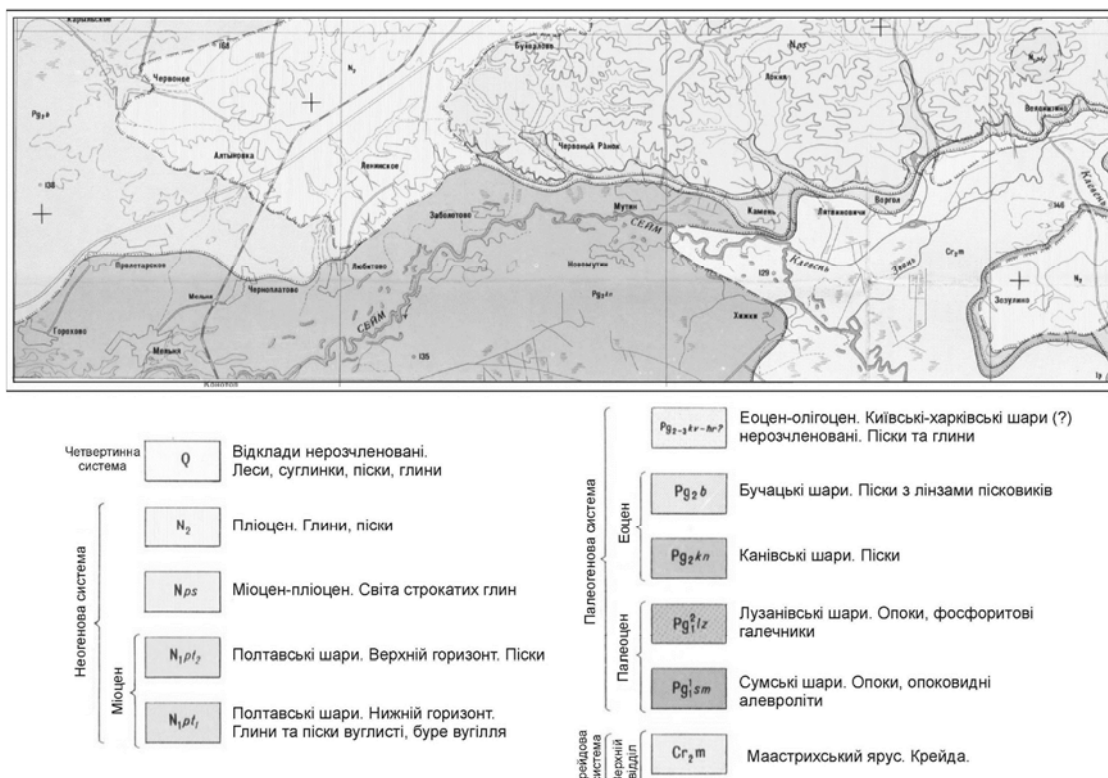
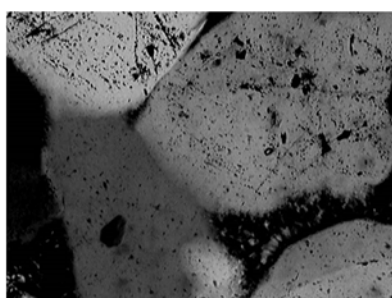
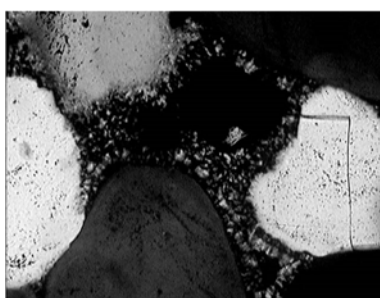


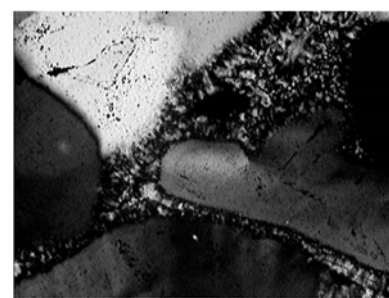
Рис. 2. Геологічна карта території дослідження палеогенових пісковиків (з використанням (Шапиро та Семенов, 1969))



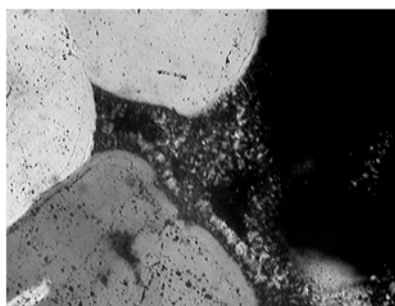
Мономінеральний пісковик
окварцований, рівномірозернистий.
Розмір зерен 0.2–0.4 мм, зб. 100^x



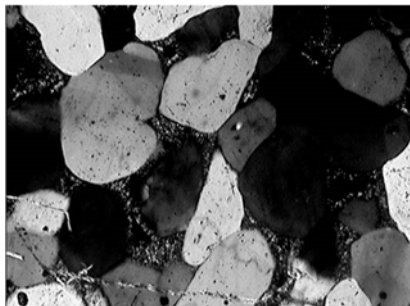
Крустифікаційні кайми – нарощування кварцових мономінеральних шарів на поверхні теригенних уламків. зб. 100^x



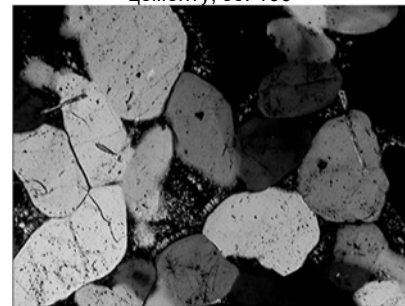
Безцементна цементація та розчинення уламків кварцу з наступним формуванням кварцового крустифікаційного та порового цементу. зб. 100^х



Асиметричні регенераційні кварцові кайми навколо обкатаних зерен кварцу дорощують їх до кристалографічних форм, зб. 100^x

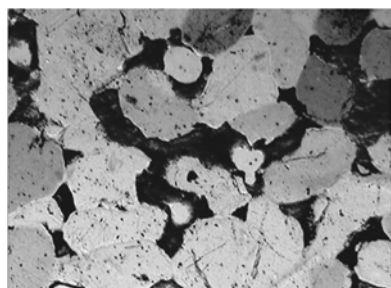


Мономінеральна рівномірно-зерниста порода, безцементна цементация не перевищує 10 %. Навколо уламків утворюються крустифікаційні кайми, зб. 40^х

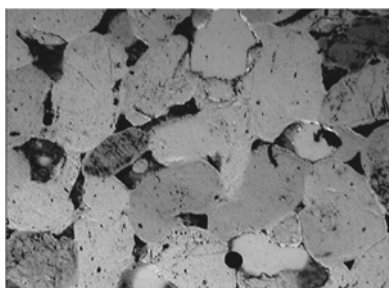


Асиметричні регенераційні кварцові кайми
навколо обкатаних зерен кварцу
добудовують їх до кристалографічних
форм, зб. 40^x

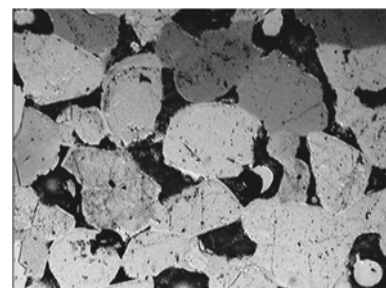
Рис. 3. Кварцові, мономіктові, добре відсортовані пісковики. Ділянка приховано-зернистої білої частини кварцитоподібного пісковика (Фото шліфів, Ник.Х)



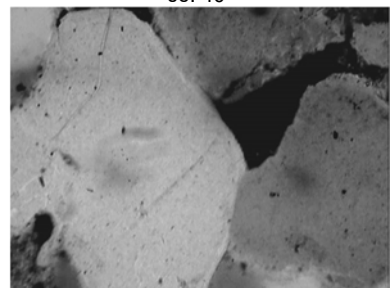
Мономінеральний пісковик, рівномірнозернистий на залістому цементі. Розмір зерен 0,35–0,4 мм, зб. 40^х



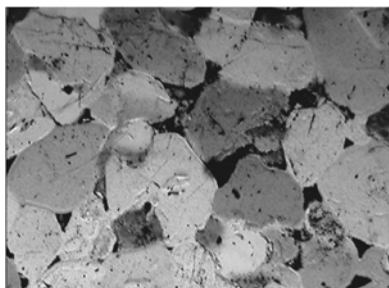
Ділянки безцементної цементації та регенерації. Кількість залістому цементу не перевищує 20 %, зб. 40^х



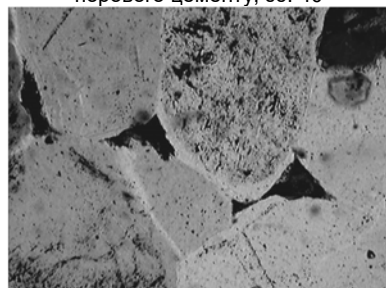
Безцементна цементація та розчинення уламків кварцу з наступним формуванням глинисто-залістому порового цементу, зб. 40^х



Регенераційні кварцові кайми навколо окатаних зерен кварцу дорошують їх до кристалографічних форм, зб. 100^х



Мономінеральна рівномірно-зерниста порода, безцементна цементація досягає 15 %. Навколо уламків утворюються регенераційні кайми, зб. 40^х



Між зернами кварцу та регенераційною каймою встановлюється тонка мінеральна плівка, зб. 100^х

Рис. 4. Ділянка дрібнозернистої світло-сірої частини кварцитоподібного пісковика з гідроксилами заліза та глинистої речовини у складі цементу (Фото шліфів, Ник.ІІ)

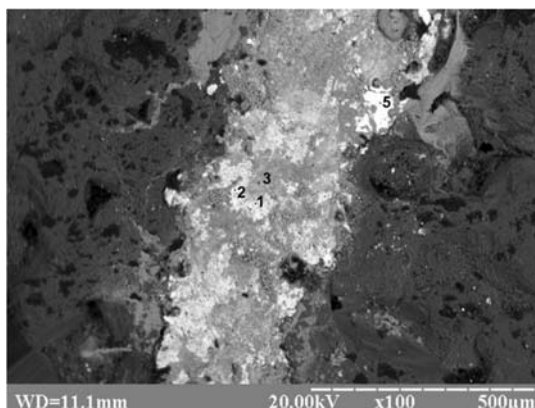


Рис. 5. Електронно-мікроскопічне зображення металевого включення у відбитих електронах. 1, 2, 3 та 5 – точки, що досліджувалися

Таблиця

Хімічний склад металевого включення у бучацькому пісковикі

№ проби	Хімічний склад, у %										
	Fe	Ni	Co	Cu	Cr	Si	Zn	Al	Ti	Mn	Сума
1	96,41	0,00	0,00	0,00	0,20	2,72	0,00	0,23	0,10	0,34	100
2	96,87	0,00	0,00	0,00	0,11	2,53	0,00	0,20	0,02	0,27	100
3	96,87	0,00	0,00	0,01	0,11	2,47	0,16	0,12	0,02	0,24	100
5	97,03	0,10	0,01	0,21	0,06	2,37	0,00	0,00	0,00	0,22	100

Отримані дані енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії показали, що в зразку, який досліджується, вміст заліза становить 96,41–97,03 %, вміст нікелю – незначний (до 0,1 %) (див. табл.). Подібних інших включень кристалічної форми нами не спостерігалось. Включення самородного заліза не зазнало гіпергенних змін, що майже не трапляється і фактично неможливо для проникливих пісковиків. Проте, з огляду на кварцитоподібну структуру метасісковиків, можна вважати це вірогідним.

Висновки. Проведені літологічні, геохімічні та мінералого-петрографічні дослідження пісковиків бучацької світи з корених виходів у межах Геологічного заказника

"Камінські пісковики" (с. Камінь, Сумська обл.) дозволяють виділити такі особливості еволюції речовинного складу осадових порід.

1. За опублікованими даними у метасісковиках бучацької світи Глухівського (с. Баничі) та Кролевецького (с. Камінь) районів Сумської області вміст SiO_2 сягає 97–99 %, а Al_2O_3 не перевищує 1,6 %

2. Пісковики середнього палеогену (еоцен) локально зазнали літогенетичних перетворень, які відповідають глибинному катагенезу – ранньому метакатагенезу. Метасісковики утворились в умовах термального катагенезу (за температури близько 150–175 °C), ділянки кварцового

цементу, добування зерен до кристалографічних форм і кристифікація зерен сформувались за рахунок часткового розчинення зерен кварцу за нових геохімічних і термальних умов за температури близько 200 °C.

3. Формування знайденого поодинокого зерна самородного заліза в Камінських пісковиках можливо внаслідок гідротермального процесу, електрохімічної реакції або в умовах відновлення в осадовому басейні.

Список використаних джерел

- Бондарчук, В.Г. (Гл. ред.). (1960). Атлас палеогеографічних карт Української і Молдавської РСР. Масштаб 1:2500000. Київ: АН УРСР, 78 л. карт.
- Бондарчук, В.Г. (1949). Геоморфологія УРСР (Геологічний розвиток рельєфу УРСР). Київ.
- Деревська, К.І. (2008). Палеогеотермальний режим літогенезу та гіпогенного рудоутворення в межах Балтійсько-Дністровської перикратонної зони прогинів в рифей-фанерозої. Автореф. дис. ... докт. геол. наук: 04.00.21. Київ, 43.
- Зубов, В.Л. (2004). Теорія і технологія виробництва феросиліцію в потужних рудовідновних електропечах. Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.02. Дніпропетровськ, 33.
- Клубова, Т.Т., Королев, Ю.М., Резникова, А.П., Касьянова, Н.М., Конышева, Р.А., Костинова, В.В., Метлова, И.Ф., Чухрова, В.Ф. (1986). Пороговое пространство и органическое вещество коллекторов и покрышек. Москва: Наука, 96.
- Перельман, А.И. (1979). Геохимия. М.: Высш. шк., 423.
- Шапиро, А.П., Семенов, А.Г. (1969). Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Днепровско-Донецкая. М-36-IV. Всесоюзный аэрогеологический трест. М.
- Шапиро, А.П., Семенов, А.Г., Гужва, Н.Г. (1970). Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Днепровско-Донецкая. М-36-IV. Объяснительная записка. М., 81.

Шапиро, А.П. (1990). Составление геологической карты донеогеновых образований восточной части Днепровско-Донецкой впадины масштаба 1:200000. 1986-90 г.г. Харьков.

References

- Bondarchuk, V.G. (Eds.). (1960). Atlas of paleogeographic maps of the Ukrainian and Moldavian SSR. Scale 1: 2,500,000. K.: Academy of Sciences of the USSR, 78. [in Ukrainian]
- Bondarchuk, V.G. (1949). Geomorphology of the Ukrainian SSR (Geological development of the relief of the Ukrainian SSR). Kyiv, 249. [in Ukrainian]
- Derevska, K.I. (2008). Palaeothermal conditions of Riphean to Phanerozoic lithogenesis and ore formation within the Baltic-Dniester pericratonic belt. Abstract of thesis ... of a Scientific degree of Doctor of Geol. Sciences: 04.00.21. Kyiv, 43. [in Ukrainian]
- Klubova, T.T., Korolev, Yu.M., Reznikova, A.P., Kasyanova, N.M., Konyisheva, R.A., Kostikova, V.V., Metlova, I.F., Chuhrova, V.F. et al. (1986). Porous space and organic matter of collectors and tires. M.: Science, 96. [in Russian]
- Perelman, A.I. (1979). Geochemistry. M., 423. [in Russian]
- Shapiro, A.P., Semenov, A.G. (1969). Geological map of USSR. Scale 1:200000. Series of Dniro-Donetsk. M-36-IV. All-Union Aerogeological Trust. [in Russian]
- Shapiro, A.P., Semenov, A.G., Guzha, N.G. (1970). Geological map of USSR. Scale 1:200000. Series of Dniro-Donetsk. M-36-IV. Explanatory note, 81. [in Russian]
- Shapiro, A.P. (1990). Compilation of the geological map of the pre-neogenic formations of the eastern part of the Dniro-Don Dniro-Donetsk valley. Scale 1: 200000. 1986-90, Kharkiv. [in Russian]
- Zubov, V.L. (2004). Theory and Technology of Ferrosilicon production in High-power ore-reducing Furnaces. Abstract of thesis ... a Scientific degree of Doctor of Technical Sciences: 05.16.02. Dnipropetrovsk, 33. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 16.04.18

K. Derevska, Dr. Sci. (Geol.), Prof., E-mail: zimkakaty@gmail.com
S. Isaev, Dr. Sci. (Chem.), Prof., E-mail: nezruch@ukr.net
National University of Kyiv-Mohyla Academy
2 Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine
K. Rudenko, Cand. Sci. (Geol.), Senior Research,
E-mail: rudenkoksensiiav@gmail.com
L. Nurmamedov, Fund curator
The National Museum of Natural History at the National Academy of Sciences of Ukraine
15 B. Khmel'nitsky Str., Kyiv, 01030, Ukraine

LITHOLOGICAL, MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL FEATURES OF EOCENE SANDSTONES OF NORTH-EAST PART OF THE DNEPR-DONETSK DEPRESSION

The authors carried out research in the framework of scientific support of the objects of the Geological Reserve "Kaminsky Sandstone" (the part of the Regional landscape park "Seimsky"). There are about 3 ha of quartzite-like sandstones outcrops on the right bank of the Seim river (near the place where the Kleven River flows into it). Their age was previously determined as Eocene according to fauna findings. The main goal of current work was to determine the lithological and mineralogical features of eocene sandstones. The investigated territory is confined to the north-eastern slope of the Dniro-Donetsk depression in the area of influence of the Voronezh massif. Palaeogene sands underwent post-sedimentation changes. Lithological studies of sedimentary rocks prove that sandstones were formed in conditions of thermal catagenesis (at temperatures of 150-175°C). Separate parts of the rock (quartz cement, crustification zones) were formed due to partial dissolution of quartz grains in new geochemical and thermal conditions (at a temperature of about 200°C). Results of mineralogical and petrographical study of quartzite-like sandstones were given. Results show that native iron formation may be a consequence of a hydrothermal process, an electrochemical reaction, or can be formed under reduction conditions in a sedimentary basin.

Keywords: lithogenesis, thermal catagenesis, native iron, Eocene sandstone, sedimentary basin.

K. Деревская, д-р геол. наук, проф., E-mail: zimkakaty@gmail.com
С. Исаев, д-р хим. наук, проф., E-mail: nezruch@ukr.net
Национальный университет "Киево-Могилянская Академия"
ул. Сковороды, 2, г. Киев, 04070, Украина
К. Руденко, канд. геол. наук, старш. науч. сотр.,
E-mail: rudenkoksensiiav@gmail.com
Л. Нурмамедов, хранитель фондов
Национальный научно-природоведческий музей НАН Украины
ул. Б. Хмельницкого, 15, г. Киев, 01601, Украина

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭОЦЕНОВЫХ ПЕСЧАНИКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Авторами проводились исследования в рамках научного сопровождения объектов Геологического заказника "Каминские песчаники", который входит в состав регионального ландшафтного парка "Сеймский". На правом берегу р. Сейм (возле места впадения в неё р. Клевень) находятся выходы кварцоподобных песчаников площадью около 3 га (возраст которых по содержащейся фауне был ранее определен как эоценовый). В геологическом отношении данная территория приурочена к северно-восточному склону Днепровско-Донецкой впадины в зоне влияния Воронежского массива. Целью данной работы стало определение литологических и минералогических особенностей эоценовых песчаников. Палеогеновые пески претерпели послеседиментационные преобразования. Литогенетические исследования осадочных пород доказывают, что пески образовались в условиях термального катагенеза (при температурах 150–175 °C). Отдельные части породы (кварцевый цемент, поля кристификации) образовались за счет частичного растворения зерен кварца в новых геохимических и термальных условиях (при температуре около 200 °C). Изложены результаты минерало-петрографических исследований кварцитоподобного песчаника и показано, что формирование самородного железа в песках, подвергшихся термальному катагенезу, может происходить вследствие гидротермального процесса, электрохимических реакций или в условиях восстановления в осадочном бассейне.

Ключевые слова: литогенез, термальный катагенез, самородное железо, бучатская свита, эоценовые песчаники, осадочный бассейн.

UDC 553.493; 550.93

O. Hrinchenko¹, PhD (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua
S. Bondarenko², PhD (Geol.), Senior Researcher
E-mail: sbond@igmof.gov.ua
T. Mironchuk¹, PhD (Philol.), Assoc. Prof.
E-mail: tatianakiev99@gmail.com

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

²Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine
34 Palladina Ave., Kyiv-142, 03680, Ukraine

GRANITOIDS, RARE-METAL PEGMATITES AND TA-NB MINERALIZATION OF SHPOLIANO-TASHLYK ORE AREA (INGUL MEGABLOCK, UKRAINIAN SHIELD)

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

Composition of granites, genetically associated pegmatites and superimposed metasomatites distributed within Shpoliano-Tashlyk ore area (Ingul megablock) is considered. It is established, that on the basis of similarity in their petrographic and petrochemical features granitoids of the area can be related to single complex. Features of ore mineralization are defined by both composition of granitoids (S-granites) after which rare-metal pegmatites are formed and intensity of superimposed metasomatic alterations.

Main minerals-concentrators of Ta and Nb mineralization in granitic pegmatites and metasomatites are represented by minerals of three isomorphic series – columbite-tantalite $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6$, ilmenorutile-struverite $(\text{Ti,Nb,Ta})\text{O}_2$ and pyrochlore-microlite $(\text{Ca,Na})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O,B,OH,F})$. Depending on geological setting such ore minerals as tapiolite, ixiolite, cassiterite, uraninite, nigerite, gahnite are commonly found in association with these minerals.

Chemical composition of tantaloniobates sampled from ore-bearing pegmatites and metasomatites is investigated by microprobe analysis. Most minerals of columbite-tantalite series are characterized by distinct and rhythmic internal zonality and contrasting mosaic structure which are related to considerable heterogeneities of their chemical composition. Within one aggregate mineral phases with wide range of values – from 9,80 to 71,0 % for Ta_2O_5 and from 10,6 to 70,1 % for Nb_2O_5 – are established. Among minerals ferruginous varieties which composition relates to Fe-columbite-tantalites $(\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5 = 1-1,2; \text{FeO/MnO} = 2,5-6)$ prevail. Columbite-tantalites are characterised by high contents of admixture elements present (%): TiO_2 – to 5,88; WO_3 – to 3,70; SnO_2 – to 9,20; Sc_2O_3 – to 5,40. Scandium ores occur as scandium-rich minerals that are mostly confined to the minerals of columbite-tantalite series found in Polohivka ore field. On the Ukrainian Shield high contents of Sc_2O_3 in tantaloniobates are established for the first time.

Minerals of ilmenorutile-struverite series do not quantitatively yield to minerals of columbite-tantalite series. For minerals of this series $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ ratio varies in the range of 0,6-1,4. Among characteristic admixture-elements are prevailed (%): SnO_2 – to 3,1, V_2O_5 – to 5,05; FeO – to 11,51, Cr_2O_3 – to 1,20. Minerals of pyrochlore-microlite series are of subordinate importance.

For the first time by results of U-Pb dating of columbite-tantalites from Mostove ore manifestation (Shpoliano-Tashlyk area) the age of Ta-Nb mineralization is established to be about 1665 ± 25 million years.

Keywords: Rare-metal pegmatites, Ta-Nb mineralization, Ukrainian Shield.

Introduction. Shpoliano-Tashlyk ore area became known after intensive prospection and exploration works carried out by local geological enterprises, SE "Kirovgeology" and "Centergeology" during 1980-90th. As the results of these works two ore-bearing fields, Polohivka and Stankuvatka, with general specialisation on rare metals (Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn) are discovered and outlined within the western area of Ingul megablock of Ukrainian Shield (Fig. 1) (Ivanov et al., 2000).

Polohivka ore field is found to be confined to the western flank of Korsun-Novomirgorod pluton that is comprised by anortosite - rapakivi granite associations. Several swarms of pegmatites with associated rare-metal mineralisation are found here, within the marginal area of Polohivka ore field. This field includes Polohivka deposit of lithium that is situated at the immediate proximity of the Korsun-Novomirgorod pluton and Petroostrivske ore site. The Petroostrivske site itself is situated to the northwest of the Polohivka deposit and, in contrast, shows wide abundance of predominantly Ta-Nb mineralization. It includes Mostove deposit of tantalum and some small manifestations of the similar mineralogical type – Kopanky, Vys, Yaroshivka. (Nechaev et al., 1991; Eremenko et al., 1996).

Problem statement. Mostove ore deposit is still non-sufficiently explored but, at present, it is treated as the most perspective ore-bearing deposit with economic Ta mineralization among those recently found within Ukrainian Shield. Based on the deep drilling data this deposit might be described as ore-bearing system that includes several ore bodies (ore veins) which form cross-cut structure (ore column) in the central part of the deposit (Eremenko et al., 1996; Gursky et al., 2005). The most of rich ore intervals (that is evidenced by drill core samples) are comprised by albite-microcline metasomatites and intensively altered tourmaline-muskovite pegmatites that commonly host associated

sillimanite, cordierite and apatite. Country rocks of metamorphic origin are represented by biotite, garnet-biotite and cordierite-biotite gneisses with associated sillimanite.

Dessiminated type mineralization occur as lense-like bodies, nests and zones of impregnated ores. The richest ore intervals (Ta_2O_5 up to 0,04 % and Nb_2O_5 up to 0,02 %) are found to be confined to metasomatically altered granites that are pegmatitic in appearance as well as rare-metal pegmatites and albite-microcline veins. In most cases ore mineralization itself is mostly controlled by faults and metasomatic zones (greisens) which are commonly formed at the exocontact areas of granite massifs. Nb-Ta mineralization commonly shows superimposed nature and rarely might be found at the margin areas of early formed lithium-rich pegmatites.

Stankuvatka ore field includes Lipnashka and Novoodeske rare-metal manifestations and lithium deposits of Stankuvatka, Nadezhda. They are spatially localized within the west and northwest exocontacts of Lipnashka granite massif (Fig. 1). Stankuvatka lithium deposit does not show high concentration of Nb and Ta, with average values reaching 0,015 % for Ta_2O_5 and 0,015 % for Nb_2O_5 . The most of rich sites of Ta-Nb mineralization are confined to veins of metasomatically altered pegmatitic granites and albite-microcline metasomatites. Ore mineralization is characterised by dessiminated nature when most tantaloniobites occurred as accessory minerals in metasomatically altered (greisenised) pegmatites spatially confined to exocontact zones of Lipnashka granite massif. Majority of ore bodies and manifestations are characterized by distinct internal ore zonality. Petalite and petalite-spodumene associations are found to be confined to the central parts of ore bodies as well as tantaloniobites occur as confined to zones of thinning of pegmatitic veins. In general, high concentration of tantalum-niobate mineralization are found in thinning zones of lithium pegmatites and superimposed

metasomatites that are spacially (and genetically) associated with them.

General geological setting. The Shpoliano-Tashlyk ore area is situated in the northwest of Ingul megablock where it occupies the northern part of so-called Bratsky synclinorium. The synclinorium itself might be traced as uniform regional-scale structure (belt) that strikes in submeridional direction along western margin of intrusive-magmatic system comprised by differently aged structures – Korsun-Novomyrhorod anortosite-rapakivi-granite pluton and Novoukrainka diorite-monzonite massif. From the southwest, synclinorium is bordered by exposed structures of granulitic basement – Golovanivka zone (block). The overall submeridional symmetry of the Bratsky synclinorium is additionally marked by a number of granite massifs of ultrametamorphic origin that are elongated in the same direction and S-N strike of linear folding of relic metamorphic rocks. Structurally, the synclinorium is interpreted as regional-scale epicratonic (as well as epi-Archean) depression that hosts rock association of Proterozoic age. Geological section generally includes two separate

stratigraphic units that show distribution of regional scale. The first unit includes rocks of Kamlenno-Kostuvatka suite which are widely distributed within the southern area of the Bratsky synclinorium. This suite includes pyroxene gneisses, crystalloschists, garnet-biotite, garnet-cordierite-biotite, graphite-biotite gneisses, calciphyres and skarns. Rocks of the second unit are mostly abundant in the northern area of the Bratsky synclinorium and are presented by biotite, graphite-biotite, amphibole-biotite, graphite-garnet-amphibole gneisses that are rhythmically intercalated with layers of amphibolites, quartzites and ultramafic rocks. All this rock associations are combined into the single Roschahivka suite. Metamorphic rocks of both suites are intensively changed by ultrametamorphic alterations. They are deeply silicified and thinly-layered with formation of migmatites. Coarse-grained biotite granites of pegmatitic nature are abundant here and mapped mostly everywhere. Rhythmic interlaying of metamorphic rocks is additionally marked by layers of metaultramafic rocks which are commonly found within ore-bearing zones.

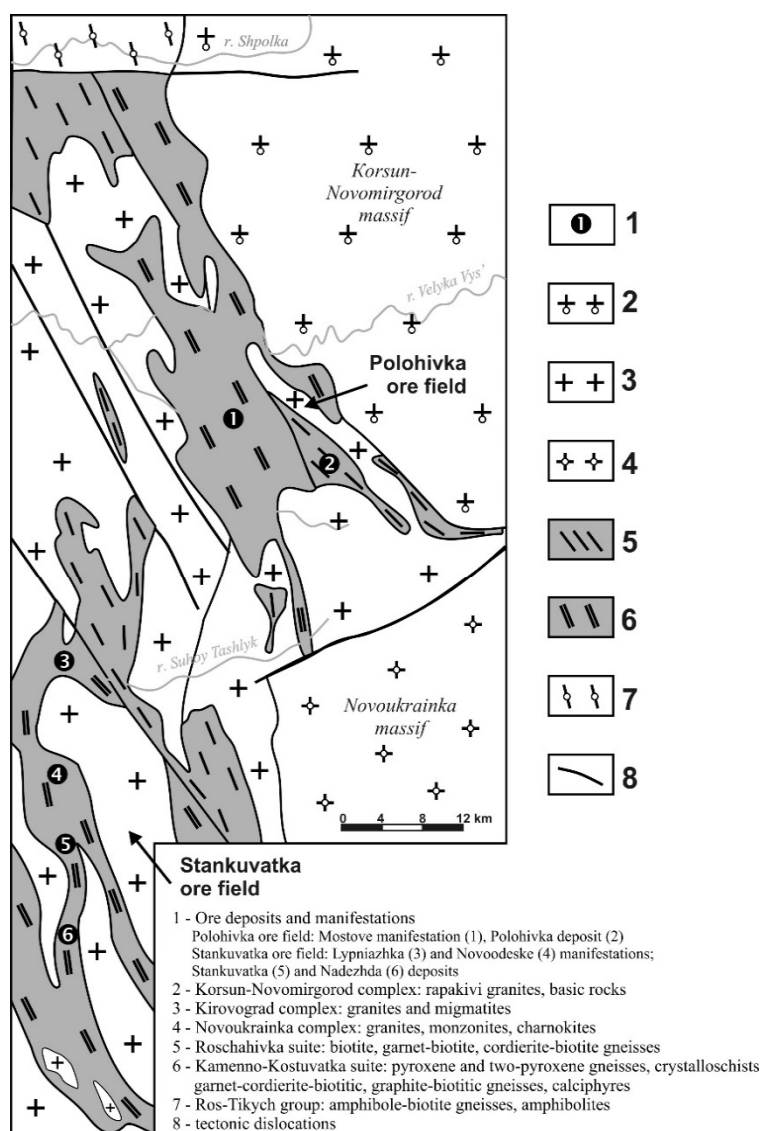


Fig. 1. Location scheme of ore fields, deposits and manifestations of Shpoliano-Tashlyk ore area

Rare-metal pegmatites and metasomatites are commonly found to be confined to the exocontacts of granite massifs which are widely abundant within Shpoliano-

Tashlyk ore area – Novopavlivka, Mykhaylivka, Berezivka, Lypniashka, Doropheivka, Yaroshivka massifs.

All these granites are formed at processes of ultrametamorphic alterations of rocks of Kamlenno-

Kostuvatka and Roschahivka suites and are related to Kirovograd complex, which is treated as typical for the whole area of Ingul megablock. At the same time, granitoids of the western area of Ingul megablock show some features that distinguish them from possible analogues distributed in the eastern and central areas of the megablock. This fact has caused some early proposals to distinguish granitoids of Bratsky synclinorium into the separate Voznesensky complex (Scherbakov, 2005).

It is necessary to note, that among numerous schemes granite classification, the most suitable as to metallogenic forecast is still remained the scheme proposed by Chappell and White (Chappell *et al.*, 2001). According to this scheme, granites are classified into two different I- and S- types that are formed as a result of ultrametamorphic alterations (anatexis) of mostly igneous (I) or sedimentary (S) protoliths. This scheme broadly corresponds to local scheme proposed earlier by Shcherbakov (Scherbakov, 2005) according to which granites of Ukrainian Shield were classified into apobasic (I) and apopelitic (S) types. Sedimentary type granites that are formed after primary-sedimentary rocks can inherit high contents of fluxing components (B, P, F etc.). These components can essentially lower the temperature of crystallization and make S-type granites especially favorable for formation of pegmatite-generating melts enriched in rare lithophile elements (Li, Cs, Ta, Nb and others).

Apopelitic type granites are widely abundant within Shpoliano-Tashlyk area. Here, they are characterized by common presence of biotite, garnet or cordierite as rock-forming minerals as well as ilmenite and uraninite as typical accessory minerals. Some varieties of these granites are predominantly peraluminous ($Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$), enriched in potassium over sodium and characterized by high silica content (64–77 % SiO_2). These granites as well

as associated pegmatites and metasomaties are potentially ore-bearing.

Nature of Ta-Nb mineralization. Deposits and numerous ore manifestations of rare metals of Shpoliano-Tashlyk ore area are formed in rather similar geologic-and-tectonic settings and consequently show common geologic features. These features are manifested in both mineralogy of country rocks and ore mineral associations that comprise most occurrences of Ta-Nb mineralization. Main concentrators of Ta and Nb are represented by minerals of three isomorphic series – columbite-tantalite $(Fe,Mn)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$, ilmenorutile-struverite $(Ti,Nb,Ta)O_2$ and pyrochlore-microlite $(Ca,Na)_2Ta_2O_6(O,B,OH,F)$ (Nechaev *et al.*, 1992; Grinchenko *et al.*, 2008).

Minerals of columbite-tantalite series are mostly abundant in Shpoliano-Tashlyk ore area. From 60 to 80 % of niobium and tantalum are concentrated in minerals of this series. Ore minerals of columbite-tantalite series only sometimes show less abundance in comparison to minerals of ilmenorutile-struverite series. In many cases it depends on composition of host rocks and degree of their alterations by superimposed metasomatic processes.

The most of Ta-Nb minerals of the series occur as impregnated idiomorphic aggregates or form intergrowths with other minerals (cassiterite, ilmenorutile, microlite, and uraninite). Electronic microscope investigations indicate steady presence of inner zonation and mosaic structure of columbite-tantalites. Typical feature is variable chemical composition which is observed both at macroscale (ore body) and microscale (single grain) levels. Several mineral phases with wide range of Ta_2O_5 (9,80 to 71,0 %) and Nb_2O_5 (10,6 to 70,1 %) can be established within the single ore mineral grain. Microprobe data indicate predominance of ferruginous varieties ($FeO/MnO = 2,80\text{--}6,56$ in average) of columbite-tantalites (Fig. 2).

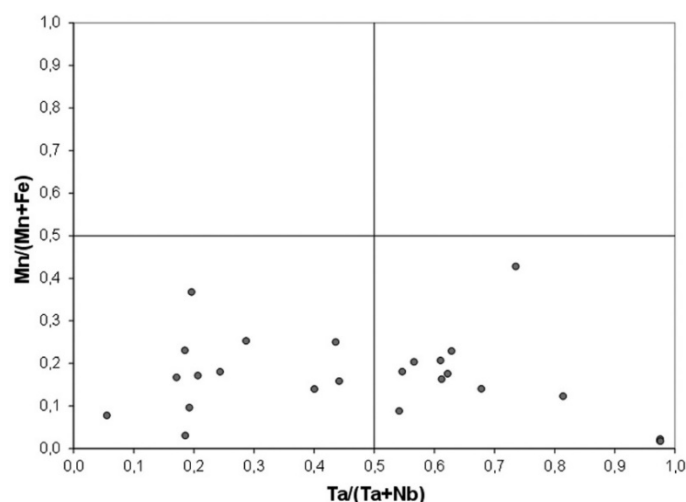


Fig. 2. Mn/(Mn+Fe) and Ta/(Ta+Nb) ratios in minerals of columbite-tantalite series of Shpoliano-Tashlyk ore area

Minerals of columbite-tantalite series are also characterised by high contents of admixture elements present (%): Ti (TiO_2 up to 5,88), W (WO_3 up to 3,70), Sn (SnO_2 up to 9,20) and even Sc (Sc_2O_3 up to 5,40).

Titanium is a characteristic admixture-element in minerals of this series. Occurrence of titanium in the structure of tantaloniobates is caused by close affinity of their crystallochemical properties. Contents of titanium varies from 0,5 to 2 % in average, with the highest contents (5,88 %) being established for columbite-tantalites of Stankuvatka deposit.

Tin is also found as present in composition of minerals of this series and rarely its content can reach 9,40 %. At the same time, most columbite-tantalites are characterised by

rather low contents of tin (0,3–1 %). Abnormal high contents of tin are found in ixiolite (disordered phase of tantaloniobates) that is sampled from muscovitized two-feldspaar pegmatite of Yaroshivka ore manifestation.

Tungsten is found as present in all mineral varieties of columbite-tantalite series. The contents of tungsten found in tantalites show considerably the average values (up to 3,30 %). At the same time columbite with low tantalum show essentially low contents of tungsten (0,1–1 %).

Scandium is found in minerals of tantalite-columbite series of Shpoliano-Tashlyk ore area for the first time. Ore minerals of Polohivka manifestation are mostly scandium-bearing with scandium content reaching high (up to

economic) ore grade values. Sc is established in practically all varieties of tantaloniobates with scandium content ranging from 0,1 to 1 %.

Other admixtures in minerals of columbite-tantalite group are represented by magnesium, calcium, rare earth elements and uranium, with their contents that do not exceed 1 %.

Minerals of ilmenorutile-struverite series are mainly occurred in the zones of metasomatic alterations of pegmatitic granites and rare-metal pegmatites. On the distribution they take the second place after columbite-tantalites, and sometimes occur as the main mineral-concentrators of Nb and Ta mineralisation.

For most ore objects the occurrence and nature of ilmenorutile-struverite mineral series are mostly similar to that of columbite-tantalites. Crystallochemically minerals of this series are interpreted as $\text{Fe}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$ solid solutions formed in TiO_2 matrix. Natural intergrowths between these two mineralogical varieties are commonly observed.

For the first time high concentrations of Ti-Nb-Ta mineralization were established in natural outcrops situated at the flank of Lipnizhka ore manifestation, and have been traced in similar pegmatites at the sections of deep boreholes. Aggregates of subgraphic intergrowths of these minerals are constantly found as disseminated impregnations in dark grey quartz among cataclased formations of muskovite-spodumene-petalite pegmatites. The ilmenorutile is the main mineral-concentrator of Nb and Ta in biotite-apatite-cordierite apogabbroic metasomatites. Here it forms impregnated grains of subidiomorphic habit and occur in association with ilmenite, pyrrhotite, pentlandite, niccolite and gersdorffite. This type of Ta-Nb mineralization is characterised by predominance of ilmenorutile over struverite. According to the microprobe analysis minerals of this series show $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ values ranging from 0,6 to 1,4. Among admixture elements found are (%) Sn (SnO_2 up to 3,1), V (V_2O_5 up to 5,05), Fe (up to 11,51) and Cr (Cr_2O_3 up to 1,20).

Minerals of pyrochlore-microlite series are mostly represented by microlite which occur in association with tantaloniobates and cassiterite. In most cases, microlite is formed as a result of superimposed alteration of tantaloniobates and tantalum-rich cassiterites. Mineralogically segregations are represented by veinlet and net-like patterns. Under ore microscope microlites are found as light-brown spongy-like pseudomorphoses (0.1 to 0,3 mm in diameter) formed after tantalite minerals.

Microlite is characterised by complex and heterogenic structure. It commonly includes such element as calcium, titanin, tin, aluminium and uranium in its composition. $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{Nb}_2\text{O}_5$ ratio varies within the range of 2,5 to 6,9. Microlites collected from spodumene-albite pegmatites of Stankuvatka deposit show essentially high values of tungsten and tin.

Besides typical Ta-Nb minerals described above, rare metal pegmatites include other ore-mineral phases that contain Ta and Nb. They are represented by such varieties as tapiolite FeTa_2O_6 , ixiolite $(\text{Nb,Ta,Sn,Fe,Mn,Ti})_4\text{O}_8$ and some other non-precisely identified mineralogical phases of tantaloniobates. Among other minerals found as closely associated with different series of Ta and Nb minerals are cassiterite, nigerite, gahnite, uraninite, chrysoberyl, stannite, sphalerite and chalcopyrite.

Age of ore mineralization of rare-metal pegmatites of Shpoliano-Tashyk ore are under discussion during the long period of time. Difficulties in determination of the age of rare-metal mineralisation are caused mainly by absence in their composition of so-called minerals-geochronometers (zircon or monazite) and multistage nature of rock formation and ore mineralization occurrences.

Some researchers followed the idea, that age of formation of rare-metal pegmatites of Polohivka ore field should be coeval to the age of of Korsun-Novomirgorod pluton intrusion (Bezvinny, 2005). The age of rapakivi granites of this pluton is dated as 1750 million years. (Esypchuk et al., 2004). At the same time, some metallogenic interpretations treat hypothetical dating of 2,3 billion years, obtained early by Pb-Pb method (Eremenko et al., 1996), as possible age of rare-metal pegmatites. Age dating at 2,0 billion years obtained for granitoids of Kirovograd complex (Shcherbak et al., 1995) is interpreted as the age of regional scale ultrametamorphic alterations of primary gneisses. It was assumed that pegmatites formed early at 2.3 billion years might be intensively altered by the subsequent ultrametamorphic processes. (Ivanov et al., 2001).

For the first time, based on the results of direct determination of U-Pb ratios in columbite-tantalites collected from Mostove ore manifestation, the age of Ta-Nb mineralization is established to be about 1965 ± 25 million years. At the same time, based on microprobe investigations and calculations according to CHIME method (Suzuki et al., 2008) the age of uraninite associated with tantaloniobate minerals is estimated to be about 1925 million years.

Conclusions. Granites, genetically associated pegmatites and superimposed metasomatites are widely distributed within Shpoliano-Tashlyk ore area in the western part of Ingul megablock, Ukrainian Shield. Their Petrochemical and geochemical features of these rocks can indicate their potential ore-bearingness as to rare-metal mineralization.

Numerous deposits and ore manifestations of Ta-Nb mineralizations of ore area were formed in similar geologic-and-tectonic setting and have many the common features - as in chemical composition of host rocks and associations of ore minerals. Mineralogical composition of Ta-Nb mineralization is defined by isomorphic series of minerals represented by columbite-tantalite and ilmenorutile-struverite series. Moreover ore parageneses sometimes includes other Ta-Nb minerals such as microlite, tapiolite, ixiolite and non-identified phase of tantaloniobates. According to microprobe analyses minerals of columbite-tantalite group contain Ta and Nb in approximately equal amounts. Typical admixture-elements in minerals of this given group are represented by (%): TiO_2 – to 5,88; WO_3 – to 3,70; SnO_2 – to 9,20; Sc_2O_3 – 5,40. High contents of scandium in tantaloniobates are established in Ukrainian Shield for the first time.

Manifestations of Ta-Nb mineralization of Shpoliano-Tashlyk ore area are unique high-grade ore objects specialised on tantalum on the Ukrainian Shield. Therefore, their studying has high economic importance as to the prospects of development of raw-material base of tantalum and other rare elements (Rb, Cs, Nb, Sn, Li, W, Sc). Potential prospections of these objects are also substantiated by their geological and mineralogical-and-geochemical features that are widely similar to those established as typical classical (world-known) deposits of rare-metal pegmatites of LCT (Li-Cs-Ta) type, such as Greenbushes (Australia), Tanco (Canada). (Cerny, 1989; Cerny et al., 2005).

For the majority of rare-metal granitic pegmatites of this type their spatial and genetic relations with granites of "sediment-type" origin (S-type) are established. They are formed as a result of anatexic alteration of primary-sedimentary strata. Inherited high contents of such fluxing elements as B, P, Li and F can cause these rock associations to be favorable on formation of rare-metal pegmatites. One more characteristic feature of LCT pegmatites is the fact, that host rocks around these pegmatites are commonly metasomatised. The dissemination of alkaline elements in

metasomatic aureoles around these pegmatites might be used as the important criterion for their possible prospection and exploration. Lithium anomalies form the widest aureoles adjacent to pegmatites and can exceed more than 100 meters in size. (Cerny, 1989).

It is necessary to note, that granite pegmatites of Shpoliano-Tashlyk ore area have also experienced intensive metamorphic and superimposed metasomatic alteration (Ivanov et al., 2001). Some ore sites show so high abundance of metasomatites that some researchers even treat metasomatic alterations as the key factor of formation of rare-metal mineralization (Bezvinnyy, 2005). At the same time the results of age determination for Ta-Nb mineralization of Shpoliano-Tashlyk ore area obtained on columbite-tantalites and associated uraninite have shown possible ages of formation as 1965 and 1925 million years, accordingly. These dating might be broadly correlative with the age of formation of ultrametamorphic granitoids of Kirovograd complex.

Список використаних джерел

- Безвинний, В.П. (2005). Рідкіснометалева та золоте зруденіння і метасоматичні процеси Петроострівського рудного поля. Збірник наукових праць УкрДГРІ, 1, 82-84.
- Гурский, Д.С., Есипчук, К.Е., Калинин, В.И., Кулиш, Е.А., Нечаев, С.В., Третьяков, Ю.И., Шумлянский, В.А. (Ред.) (2005). Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые. Киев; Львов: Изд-во "Центр Европы".
- Еременко, Г.К., Иванов, Б.Н., Бельх, Н.А., Кузьменко, А.В., Макивчук, О.Ф. (1996). Минералогические особенности и условия образования литиевых пегматитов Кировоградского блока (Украинский щит). Минералогический журнал, 1(18), 48-57.
- Есипчук, К.Ю., Бобров, О.Б., Степанюк, Л.М., Щербак, М.П. (2004.) Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка). Київ: Изд-во "УкрДГРІ".
- Іванов, Б.Н., Макивчук, О.Ф., Бугаєнко, В.М., Лисенко, В.В., Єременко, Г.К. (2000). Основні типи рідкіснометальних родовищ і рудопроявів в західній частині Кіровоградського блоку. Збірник наукових праць УкрДГРІ, 1-2, 101-107.
- Іванов Б.Н., Лисенко, В.В., Макивчук, О.Ф., Єременко, Г.К., Бугаєнко, В.М., Бондаренко, С.М. (2001). Екзоконтактні метасоматити літєвих гранітних пегматитів Шполянсько-Ташлицького рідкіснометального рудного району. Мінеральні ресурси, 4, 11-13.
- Нечаев, С.В., Макивчук, О.Ф., Бельх, Н.А., Иванов, Б.Н., Кузьменко, А.В., Прытков, Ф.Я., Бугаєнко, В.Н., Семка, В.А. (1991). Новый редкометальный район Украинского щита. Геологический журнал, 4, 119-122.
- Нечаев, С.В., Бондаренко, С.Н., Нечаев, С.Вл. (1992). Танталоніобати из пегматитов центральной части украинского щита. Геологический журнал, 3, 85-88.
- Щербак, Д.Н., Пономаренко, А.Н., Макаренко, И.Д. (1995). Геохронология гранитоидов Ингуло-Ингулецкого мегаблока Украинского щита. Геохимия и рудообразование, 21, 74-88.
- Щербаков, И.Б. (2005). Петрология Украинского щита. Львов: Изд-во "ЗУКЦ".
- Cerny, P. (1989). Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional to global environments and petrogenesis. Geoscience Canada, 2(18), 68-81.

- Cerny, P., Ercit, T.S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. Canadian Mineralogist, 43, 2005-2026.
- Chappell, B.W., White A.J.R. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. Australian Journal of Earth Sciences, 48, 489-499.
- Grinchenko, O., Bondarenko, S., Syomka, V., Ivanov, B., Kanunikova, L. (2008). Tantalum-niobates of orogenic rare-metal deposits in western part of the Ukrainian Shield (typochemistry and distributional patterns). Proc. XXXIII International Geological Congress, 6-14 August, Oslo, Norway, 234.
- Suzuki, K., Kato, T. (2008). CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. Gondwana Research, 14, 569-586.

References

- Bezvinnyy, V.P. (2005). Rare-metal and gold mineralization and metasomatic processes of Petroostriyske ore field. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1, 82-84. [in Ukrainian].
- Cerny, P. (1989). Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional to global environments and petrogenesis. Geoscience Canada, 2 (18), 68-81.
- Cerny, P., Ercit, T.S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. Canadian Mineralogist, 43, 2005-2026.
- Chappell, B.W., White, A.J.R. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. Australian Journal of Earth Sciences, 48, 489-499.
- Eremenko, G.K., Ivanov, B.N., Belych, N.A., Kuzmenko, A.V., Makivchuk, O.F. (1996). Mineralogical features and conditions of formation of lithium pegmatites of the Kirovograd block (Ukrainian Shield). Mineralogical journal, 1(18), 48-57. [in Russian].
- Esyphchuk, K.Yu., Bobrov, O.B., Stepanjuk, L.M., Scherbak, M.P. (2004). Correlative chronostratigraphic scheme of early Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory note). Kyiv: Publishing house "UkrSGRI". [in Ukrainian].
- Grinchenko, O., Bondarenko, S., Syomka, V., Ivanov, B., Kanunikova, L. (2008). Tantalum-niobates of orogenic rare-metal deposits in western part of the Ukrainian Shield (typochemistry and distributional patterns). XXXIII International Geological Congress, 6-14 August, Oslo, Norway, 234.
- Gursky, D.S., Esipchuk, K.E., Kalinin, V.I., Kulish, E.A., Nechaev, S.V., Tretiakov, Yu.I., Shumliansky, V.A. (Eds.) (2005). Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Issue.1. Metallic minerals. Kyiv; Lviv: Publishing house "Center of Europe" [in Russian].
- Ivanov, B.N., Makivchuk, O.F., Bugaenko, V.M., Lysenko, V.V., Eremenko, G.K. (2000). Main types of rare-metal deposits and ore manifestations in western part of the Kirovograd block. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1-2, 101-107. [in Ukrainian].
- Ivanov, B.N., Lysenko, V.V., Makivchuk, O.F., Eremenko, G.K., Bugaenko, V.M., Bondarenko, S.M. (2001). Exocontact metasomatites of lithium granitic pegmatites of Shpoliano-Tashlyk rare-metal ore area. Mineral resources of Ukraine, 4, 11-13. [in Ukrainian].
- Nechaev, S.V., Makivchuk, O.F., Belyh, N.A., Ivanov, B.N., Kuzmenko, A.V., Prytkov, F.Ya., Bugaenko, V.N., Semka, V.A. (1991). New rare-metal area of the Ukrainian Shield. Geological Journal, 4, 119-122. [in Russian].
- Nechaev, S.V., Bondarenko, S.N., Nechaev, S.Vl. (1992). Tantaloniobates from pegmatites of central areapart of the Ukrainian Shield. Geological Journal, 3, 85-88, 1992. [in Russian].
- Scherbakov, I.B. (2005). Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: Publishing house "ZUKC". [in Russian].
- Shcherbak, D.N., Ponomarenko, A.N., Makarenko, I.D. (1995). Geochronology of granitoids of Ingulo-Ingulets megablock of the Ukrainian Shield. Geochemistry and ore formation, 21, 74-88. [in Russian].
- Suzuki, K., Kato, T. (2008). CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. Gondwana Research, 14, 569-586.

Надійшла до редколегії 23.05.18

О. Грінченко¹, канд. геол.-мінералог. наук, доц.,
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua
С. Бондаренко², канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,
E-mail: sbond@igmof.gov.ua
Т. Мірончук¹, канд. філол. наук, доц.,
E-mail: tatianakiev99@gmail.com

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

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
пр. Паладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна

ГРАНИТОЇДИ, РІДКІСНОМЕТАЛІЧНІ ПЕГМАТИТИ ТА ТА-НВ МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ШПОЛЯНО-ТАШЛИЦЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ (ІНГУЛЬСЬКИЙ МЕГАБЛОК, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Розглянуто речовинний склад гранітів, споріднених з ними пегматитів і накладених метасоматитів розповсюджених у межах Шполянсько-Ташлицького рудного району (Інгальський мегаблок). Установлено, що гранітоїди району на підставі подібності їхніх петрографічних і петрохімічних особливостей можуть бути віднесені до єдиного комплексу. Особливості прояву рудної мінералізації визначаються як складом гранітоїдів (S-граніти), по яких формуються рідкіснометалічні пегматити, так і інтенсивністю прояву накладених метасоматичних перетворень.

Головні мінерали-концентратори Ta і Nb мінералізації в гранітних пегматитах і метасоматитах представлені мінералами трьох ізоморфних рядів – групи колумбіт-танталіту (Fe,Mn)(Nb,Ta,Ti)O₆, ільменорутіл-стрювериту (Ti,Nb,Ta)O₂ та пірохлор-мікроліту (Ca,Nb)₂Ta₂O₆(O,В,ОН,Н₂О). Залежно від геологічної обстановки в асоціації з цими мінералами часто відмічаються такі рудні мінерали, як татіоліт, іксіоліт, касітерит, уранініт, нігерит, ганіт.

За допомогою мікрозондового аналізу було досліджено хімічний склад тантало-ніобатів з рудоносних пегматитів і метасоматитів. Мінерали групи колумбіт-танталіту показують внутрішню ритмічну зональність і контрастну мозаїчність, яка пов'язана зі значними неоднорідностями хімічного складу. У межах одного мінерального агрегату встановлюються фази із широким діапазоном значень – від 9,80 до 71,0 % для Ta_2O_5 та від 10,6 до 70,1 % для Nb_2O_5 . Серед мінералів переважають залізисті різновиди, які за складом відповідають Fe-колумбіт-танталітам ($Nb_2O_5/Ta_2O_5 = 1-1,2$; $FeO/MnO = 2,5-6$). Колумбіт-танталіти характеризуються високим вмістом елементів-домішок (%): TiO_2 – до 5,88; WO_3 – до 3,70; SnO_2 – до 9,20; Sc_2O_3 – до 5,40. Скандієносними виявилися переважно мінерали групи колумбіт-танталіту Полохівського рудного поля. Високі концентрації Sc_2O_3 у тантало-ніобатах фіксуються на Українському щиті вперше.

Мінерали групи ільменорутил-стрюверіту кількісно не поступаються мінералам групи колумбіт-танталіту. Для мінералів даної групи значення відношення Nb_2O_5/Ta_2O_5 змінюються в діапазоні 0,6–1,4. Серед характерних елементів-домішок переважають (%): SnO_2 – до 3,1; V_2O_5 – до 5,05; FeO – до 11,51; Cr_2O_3 – до 1,20. Мінерали групи пірохлор-мікроліту мають підпорядковане значення.

Уперше за результатами U-Pb датування колумбіт-танталітів з рудопрояву Мостове (Шполянсько-Ташлицький район) був визначений вік формування Ta-Nb мінералізації, який становить 1965 ± 25 млн років.

Ключові слова: рідкіснометалічні пегматити, Ta-Nb мінералізація, Український щит.

А. Гринченко¹, канд. геол.-минералог. наук, доц.,

E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

С. Бондаренко², канд. геол. наук., старш. науч. сотр.,

E-mail: sbond@igmof.gov.ua

Т. Мирончук¹, канд. філол. наук, доц.,

E-mail: tatianakiev99@gmail.com

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, УНІ "Інститут Геології"

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

²Інститут геохімії, мінералогії і рудообразовання НАН України

пр. Палладина, 34, г. Киев-142, 03680, Украина

ГРАНИТОИДЫ, РЕДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЕГМАТИТЫ И ТА-НВ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ШПОЛЯНО-ТАШЛИЦКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК, УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Рассмотрен вещественный состав гранитов, родственных им пегматитов и метасоматоз, распространенных в пределах Шполяно-Ташлицкого рудного района (Ингульский мегаблок). Установлено, что гранитоиды района на основании сходства их петрографических и петрохимических особенностей могут быть отнесены к единому комплексу. Особенности проявления рудной минерализации определяются как составом гранитоидов (S-граниты), по которым формируются редкометаллические пегматиты, так и интенсивностью проявления наложенных метасоматических преобразований.

Главные минералы-концентраторы Ta и Nb минерализации в гранитных пегматитах и метасоматитах представлены минералами трех изоморфных рядов – группы колумбит-танталита ($(Fe,Mn)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$), ильменорутил-стрюверита $(Ti,Nb,Ta)_2O_7$ и пирохлор-микролита $(Ca,Nb)_2Ta_2O_8(O,F)$. В зависимости от геологической обстановки в ассоциации с этими минералами часто отмечаются такие рудные минералы, как тапиолит, ксиолит, касситерит, уранинит, нигерит, ганит.

С помощью микрозондового анализа исследован химический состав тантало-ниобатов из рудоносных пегматитов и метасоматитов. Минералы группы колумбит-танталитов показывают внутреннюю ритмическую зональность и контрастную мозаичность, которая связана со значительными неоднородностями химического состава. В пределах одного минерального агрегата устанавливаются фазы с широким диапазоном значений – от 9,80 до 71,0 % для Ta_2O_5 и от 10,6 до 70,1 % для Nb_2O_5 . Среди минералов преобладают железистые разновидности, которые по составу отвечают Fe-колумбит-танталитам ($Nb_2O_5/Ta_2O_5 = 1-1,2$; $FeO/MnO = 2,5-6$). Колумбит-танталиты характеризуются высоким содержанием элементов-примесей (%): TiO_2 – до 5,88; WO_3 – до 3,70; SnO_2 – до 9,20; Sc_2O_3 – до 5,40. Скандієносними оказались преимущественно минералы группы колумбит-танталита Полоховского рудного поля. Высокие концентрации Sc_2O_3 в тантало-ніобатах фиксируются на Украинском щите впервые. Минералы группы ильменорутил-стрюверита количественно не уступают минералам группы колумбит-танталитов. Для минералов данной группы значения отношения Nb_2O_5/Ta_2O_5 изменяются в диапазоне 0,6–1,4. Среди характерных элементов-примесей преобладают (%): SnO_2 – до 3,1; V_2O_5 – до 5,05; FeO – до 11,51; Cr_2O_3 – до 1,20. Минералы группы пирохлор-микролита имеют подчиненное значение.

Впервые по результатам U-Pb датирования колумбит-танталитов из рудопроявления Мостовое (Шполянсько-Ташлицький район) был определен возраст формирования Ta-Nb минерализации, который составляет 1965 ± 25 млн лет.

Ключевые слова: редкометаллические пегматиты, Ta-Nb минерализация, Украинский щит.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: vsa@univ.net.ua

В. Онищук, канд. геол. наук,

E-mail: vitus16@ukr.net

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

E-mail: oivan1@ukr.net

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: mvreva@gmail.com

О. Шабатура, канд. геол. наук.,

E-mail: dard@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРІД ВЕРХНЬОГО КАРБОНУ
(НА ПРИКЛАДІ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ ДДЗ)***(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, старш. наук. співроб. І.М. Безродною)*

Висвітлено результати дослідження фільтраційно-ємнісних властивостей пісковиків і аргілітів верхнього карбону Рунувщинської площі Дніпровсько-Донецької западини. Мета досліджень полягала в оцінці перспективності порід як можливих колекторів вуглеводнів. Досліджено такі фільтраційно-ємнісні характеристики зразків порід, як коефіцієнт відкритої пористості, коефіцієнти проникності та коефіцієнт залишкового водонасичення. Вивчається також зв'язок густини порід з їхньою пористістю. Дослідження пористості виконувалося в атмосферних і пластових умовах газоволюметричним способом і насиченням зразків рідиною.

Установлено, що об'ємна густина сухих зразків порід змінюється від 2122 до 2615 кг/м³ (середнє 2318 кг/м³), порід, насичених рідиною – від 2265 до 2680 кг/м³ (середнє 2449 кг/м³), уявна мінералогічна густина – від 2562 до 2786 кг/м³ (середнє 2650 кг/м³).

Коефіцієнт відкритої пористості досліджених порід, насичених моделлю пластової води, змінюється від 0,058 до 0,190 (середнє 0,126), а насичених N₂ – від 0,066 до 0,203 (середнє 0,145). У результаті моделювання пластових умов установлено, що коефіцієнт пористості змінюється від 0,038 до 0,175 (середнє 0,110). Через закриття мікротріщин під навантаженням порід у процесі приведення до пластових умов їхня пористість зменшується порівняно з пористістю в атмосферних умовах. Відносне зниження коефіцієнта пористості при зміні атмосферних умов на пластові становить від 4,5 до 13,8 % (середнє 9,0 %).

Проведені дослідження показали, що коефіцієнт проникності порід Рунувщинської площі змінюється від 0,03 фм² до 240,57 фм² (середнє 11,87 фм²), а їхній коефіцієнт залишкового водонасичення варіює в межах від 0,02 до 0,89 (середнє 0,36). Виконано класифікацію колекторських властивостей досліджених зразків за коефіцієнтами проникності та залишкового водонасичення.

Проведений кореляційний аналіз дозволив отримати ряд емпіричних залежностей між фільтраційно-ємнісними параметрами досліджених порід – густиною, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом проникності та коефіцієнтом залишкового водонасичення.

Отримані результати комплексних петрофізичних досліджень свідчать, що перспективні нафтоносні інтервали горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н, зразки порід яких вивчалися, загалом мають підвищені значення фільтраційно-ємнісних параметрів.

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

Постановка проблеми. Відклади верхнього карбону (Сз) широко розповсюджені в межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), де вони мають важливе газонафтопродуктивне значення. Породи цього віку представлені пісковиками світло-сірими, середньо- і крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим цементом, однорідної нешаруватої текстури із прошарками аргілітів. Пісковики мають середній ступінь цементації, пористі, нетріщинуваті. Вони розглядаються як колектори традиційних родовищ нафти і газу, часто пов'язаних з породами верхнього карбону. Останнім часом піднімається питання про можливу наявність нетрадиційних покладів вуглеводнів, пов'язаних із глинистими породами (аргілітами, алевролітами) верхнього карбону. Одним із важливих питань оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ є характеристика петрофізичних властивостей як традиційних, так і нетрадиційних колекторів. Це обумовлює актуальність їхнього вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Існує низка публікацій, присвячених вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України (Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014; Нестеренко, 2010 та ін.). Зважаючи на те, що петрофізичні властивості й кореляційні залежності між ними мають досить виражений індивідуальний характер щодо кожної ділянки досліджень, результати вивчення цих властивостей та встановлення відповідних кореляційних зв'язків у межах кожної перспективної площі вимагають публічного висвітлення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сучасному етапі проблема пошуків і вивчення традиційних і нетрадиційних (сланцевий газ, сланцева нафта, газ ущільнених колекторів та ін.) джерел вуглеводнів набуває все більшої актуальності. Важливе значення для оцінки перспективності на вуглеводні геологічних структур і комплексів, крім економічних і геолого-геометричних параметрів, вмісту органічної речовини й ступеня її термічної переробки, мають петрофізичні властивості гірських порід. Ці дані необхідні для інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень пошуково-розвідувальних свердловин, а також для оцінки параметрів гідророзриву пласта. У зв'язку з тим, що петрофізичні дослідження до недавнього часу були спрямовані переважно на вивчення порід-колекторів традиційних джерел нафти і газу, петрофізичні параметри порід-колекторів нетрадиційних джерел вуглеводнів на сьогодні є слабо вивченими або зовсім невивченими. Крім того, незважаючи на велику кількість публікацій, для таких порід-колекторів практично відсутні дані результатів їхніх лабораторних петрофізичних досліджень і кореляційні залежності між ними.

Мета досліджень. Оцінка петрофізичних параметрів порід традиційних і нетрадиційних джерел вуглеводнів як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей (Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014; Нестеренко, 2010 та ін.). Установлення перспективності відкладів на

вуглеводні виконується шляхом визначення ємнісно-фільтраційних властивостей окремих типів і груп порід і визначення кореляційних зв'язків між ними.

Експериментальні дослідження. У петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка виконано комплекс петрофізичних досліджень, що включав визначення: густини порід (сухих і насичених розчином NaCl); відкритої пористості (методами насичення азотом і розчином NaCl); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); питомого електричного опору (сухих зразків і насичених розчином NaCl); швидкості пружних хвиль (сухих зразків і насичених розчином NaCl).

У даній статті наведено результати комплексних досліджень фільтраційно-ємнісних властивостей колекції 150 зразків порід верхнього карбону свердловини 110 Руновщинської площі ДДЗ (інтервали: 3145–3164,5 м, 3217–3229,7 м, 3260–3284 м та 3313–3315 м).

Літологічна характеристика порід. Досліджені породи верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими зі слабким зеленуватим відтінком, середньо- і крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією, однорідної нешаруватої текстури із прошарками аргілітів і пісковиків, що містять гравійний матеріал. Пісковики – середнього ступеня цементації, пористі, нетріщинуваті. У середній частині інтервалу досліджень пісковики мають смугасто-шарувату текстуру за рахунок збагачення слюдистими та глинистими мінералами. В інтервалі глибин 3158–3164 м розріз представлений міцно зцементованими аргілітами темно-коричневими та строкатоколірними коричнево-сірими, безкарбонатними, слабкослюдистими, непористими. Аргіліти несланцюваті чи слабкосланцюваті. В інтервалі глибин 3217–3229,7 м породи представлені пісковиками світло-сірими, середньозернистими до крупнозернистими, пористими, місцями гідрофобними із запахом вуглеводнів, переважно олігоміковими з точковою вуглефікацією, із глинистим безкарбонатним, місцями слабкокарбонатним, цементом. Породи середнього ступеня цементації, текстури нешаруваті однорідні та лінзоподібно-смугасто-шаруваті, пов'язані з лінзами і прошарками, збагаченими глинистим і слюдистим матеріалом, іноді органічною речовиною. У нижній частині інтервалу (із глибини близько 3227 м) породи представлені горизонтом аргілітів сірих і строкатоколірних мікрослюдистих, міцно зцементованих, непористих, нешаруватих, несланцюватих (Вижва та ін., 2017).

В інтервалі глибин 3262,5–3263,5 м відклади представлені пісковиками світло-сірими зі слабким зеленуватим і жовтуватим відтінком, крупно- і середньозернистими із прошарками гравелітів і дрібногалькових конгломератів, переважно олігоміковими, пористими, часто гідрофобними із запахом вуглеводнів, з однорідною нешаруватою текстурою, пластами з лінзоподібно-смугасто-шаруватою текстурою за рахунок збагачення окремих прошарків слюдисто-глинистим матеріалом і тонкими короткими прожилками бітумоїдів. У нижній частині інтервалу 3260–3284 м породи представлені сірими аргілітами. В інтервалі глибин 3314–3315 м присутні пісковики середньозернисті, світло-сірі з легким жовтуватим відтінком нешаруватої та смугастої текстури, середнього ступеня цементації, безкарбонатні, пористі (Вижва та ін., 2017).

Густина. Густина досліджених порід у сухому стані визначалася зважуванням лабораторних зразків з визначенням їхніх геометричних розмірів, а насичених –

методом гідростатичного зважування за стандартною методикою (Тіаб, Доналдсон, 2009; Інструкція ..., 1977; Петрофізика... ч. 1, ч. 2, 1992). Для зважувань застосовувалися цифрові аналітичні ваги WPS 360/c/2 (точність $\pm 0,001$ г).

Результати густинних вимірювань показали, що об'ємна густина сухих зразків порід змінюється від 2122 кг/м³ до 2615 кг/м³ за її середнього значення 2318 кг/м³, а насичених рідиною – від 2265 до 2680 кг/м³ за її середнього значення 2449 кг/м³. Уявна мінералогічна густина порід змінюється від 2562 до 2786 кг/м³ за її середнього значення 2650 кг/м³. Відомості про межі змін і середні значення густинних параметрів порід залежно від їхнього віку, літології та приуроченості до виділених перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н наведено в табл. 1. Широкі межі зміни густини досліджених порід свідчать як про мінливість літологічного складу зразків керна, так і пористості порід.

Пористість. Пустотний простір породи характеризується пористістю, а здатність породи пропускати через себе флюїди – проникністю. Ці властивості породи для кожного типу флюїду визначають його об'єм, швидкість руху і технологію видобутку. Іншими важливими властивостями порід-колекторів є їхня структура і вміст води (залежно від капілярного тиску), а також звивистість порових каналів. Структура осадових порід значною мірою визначається формою й окатаністю зерен, їхніми розмірами, сортуванням, орієнтуванням і типом упаковки, а також хімічним складом (Тіаб, Доналдсон, 2009; Інструкція ..., 1977; Дортман, ч. 1, ч. 2, 1992). Комплексне вивчення цих параметрів дозволяє отримати інформацію про діагенетичні й катагенетичні процеси та про механізми, які діяли під час транспортування і відкладення осадового матеріалу, ущільнення і деформації осадів (Тіаб, Доналдсон, 2009). За структурою породи можна візуально на якісному рівні оцінити ступінь її пористості й проникності. Зміни проникності можна прогнозувати, виходячи із змін розміру і форми частинок, а також розподілу пустотних каналів у породі.

Пористість породи – важливий параметр, який визначає ємність колектора, тобто властивість породи вміщувати флюїди (нафту, газ і воду). Розрізняють загальну, відкриту та ефективну пористість (Тіаб, Доналдсон, 2009; Інструкція ..., 1977; Дортман, ч. 1, ч. 2, 1992). Під час лабораторних досліджень коефіцієнт відкритої пористості визначався ваговим методом згідно із стандартною методикою. Зразки гірських порід насичувалися моделлю пластової води – розчином NaCl з мінералізацією 170 г/л, а зважування виконувалося цифровими аналітичними вагами WPS 360/c/2. Крім цього, коефіцієнт відкритої пористості визначався також насиченням зразка азотом під тиском (газоволюметричним способом) за допомогою спеціально розробленої установки. Середня відносна похибка визначень коефіцієнта пористості становила 1,2 %.

Загалом, досліджені пісковики характеризуються підвищеними значеннями пористості. Відомості про межі змін і середні значення коефіцієнта пористості порід залежно від їхнього віку, виду та приуроченості до перспективних нафтоносних горизонтів наведено в табл. 2.

У результаті аналізу даних лабораторних досліджень пористості порід газоволюметричним способом установлено, що коефіцієнт пористості змінюється від 0,066 до 0,203 за його середнього значення 0,145. Коефіцієнт пористості порід, визначений насиченням їх рідиною, змінюється від 0,058 до 0,190 за середнього значення 0,126.

Таблиця 1

Межі змін і середні значення густинних параметрів порід верхнього карбону Руновщинської площі

№	Вибірки	Значення параметра	Густина (сухі), кг/м ³	Густина (насичені), кг/м ³	Уявна густина мінералогічна, кг/м ³
1	верхній карбон С ₃	сер.	2318	2449	2650
		мін.	2122	2265	2562
		макс.	2615	2680	2786
2	аргіліт	сер.	2457	2567	2730
		мін.	2386	2508	2651
		макс.	2686	2743	2832
3	гравеліт	сер.	2484	2579	2713
		мін.	2259	2410	2612
		макс.	2615	2680	2777
4	пісковик	сер.	2301	2434	2641
		мін.	2122	2265	2562
		макс.	2572	2642	2753
5	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-6, (гл. 3137,9–3160,0 м)	сер.	2388	2506	2673
		мін.	2261	2376	2613
		макс.	2572	2642	2753
6	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7в, (гл. 3209,1–3232,5 м)	сер.	2299	2444	2642
		мін.	2142	2350	2562
		макс.	2615	2680	2777
7	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт, Г-7н, (гл. 3252,2–3270,9 м)	сер.	2282	2418	2637
		мін.	2122	2265	2596
		макс.	2525	2602	2712

Таблиця 2

Межі змін і середні значення ємнісних параметрів порід верхнього карбону

№	Вибірки	Значення параметра	Коефіцієнт пористості, k_n , ч.о.		
			газоволюметричний спосіб	гідростатичне зважування	у пластових умовах
1	верхній карбон С ₃	сер.	0,145	0,126	0,122
		мін.	0,066	0,058	0,038
		макс.	0,203	0,19	0,175
2	аргіліт	сер.	0,131	0,100	0,086
		мін.	0,074	0,052	0,043
		макс.	0,166	0,127	0,115
3	гравеліт	сер.	0,109	0,085	-
		мін.	0,086	0,058	-
		макс.	0,152	0,135	-
4	пісковик	сер.	0,147	0,129	0,113
		мін.	0,066	0,058	0,038
		макс.	0,203	0,190	0,175
5	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-6, (гл. 3137,9–3160,0 м)	сер.	0,120	0,105	0,095
		мін.	0,066	0,055	0,050
		макс.	0,169	0,158	0,151
6	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7в, (гл. 3209,1–3232,5 м)	сер.	0,146	0,131	0,118
		мін.	0,086	0,058	0,05
		макс.	0,203	0,190	0,175
7	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт, Г-7н, (гл. 3252,2 – 3270,9 м)	сер.	0,154	0,135	0,117
		мін.	0,086	0,069	0,061
		макс.	0,183	0,180	0,15

Аналіз отриманих даних дозволив установити кореляційні залежності між густиною досліджених порід та їхнім коефіцієнтом пористості для різних горизонтів. Отримані кореляційні залежності для аргілітів і пісковиків описуються лінійними функціями:

$$\sigma = -29,518 \cdot k_n + 2850,9,$$

при $R^2 = 0,883$ – для газонасичених аргілітів;

$$\sigma = -32,121 \cdot k_n + 2776,3,$$

при $R^2 = 0,840$ – для аргілітів, насичених розчином NaCl;

$$\sigma = -33,316 \cdot k_n + 2895,4,$$

при $R^2 = 0,881$ – для газонасичених пісковиків;

$$\sigma = -27,460 \cdot k_n + 2799,0,$$

при $R^2 = 0,942$ – для пісковиків, насичених розчином NaCl, де σ – густина (кг/м³), k_n – коефіцієнт пористості. Графіки цих залежностей наведено на рис. 1–4.

За результатами досліджень зразків порід була виконана їхня класифікація за пористістю. Згідно із значеннями коефіцієнта пористості досліджені породи верхнього карбону Руновщинської площі належать до

IV–II класів колекторів (Дахнов, 1975). Загалом пористість їх змінюється від низької – коефіцієнт пористості становить 0,05–0,10, до високої – коефіцієнт пористості > 0,20 (табл. 2). Зокрема, за значеннями пористості, визначеної насиченням зразків азотом, до IV класу колекторів (пористість низька) належать 6,5 % зразків, до III класу колекторів (пористість середня) – 92,8 % зразків, до II класу колекторів (пористість висока) – 0,7 % зразків. За даними визначення пористості порід насиченням зразків рідиною до IV класу колекторів (пористість низька) належать 12,8 % зразків, до III класу колекторів (пористість середня) – 87,2 % зразків.

Лабораторні вимірювання з використанням установи високого тиску ВСЦ-1000 дозволили оцінити зміну коефіцієнта пористості в пластових умовах ($p = 34$ МПа, $t = 78,5$ °C). Аналіз результатів лабораторних досліджень пористості порід у змодельованих пластових умовах установив, що цей параметр змінюється від 0,038 до 0,175 за середнього значення 0,110. Виконані експери-

ментальні дослідження дозволили також отримати кореляційну залежність між коефіцієнтами пористості в атмосферних і пластових умовах, визначеними насиченням зразків розчином NaCl (моделлю пластової води). Кор-

ляційне рівняння зв'язку "коефіцієнт пористості (атмосферні умови) – коефіцієнт пористості (пластові умови)" для досліджених порід Руновщинської площі має вигляд: $k_{п,пл} = 0,95363 \cdot k_{п} - 0,00607$ при $R^2 = 0,985$ (рис. 5).

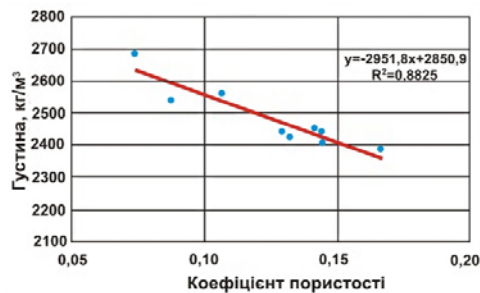


Рис. 1. Залежність густини порід від коефіцієнта пористості (аргіліти, насичені азотом)



Рис. 3. Залежність густини порід від коефіцієнта пористості (аргіліти, насичені розчином NaCl)

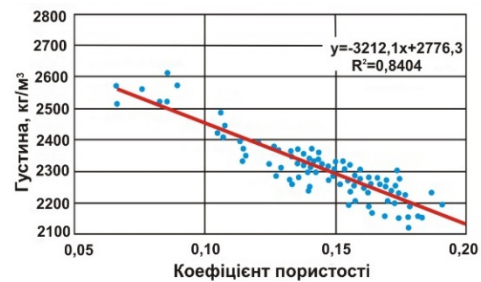


Рис. 2. Залежність густини порід від коефіцієнта пористості (пісковики, насичені азотом)

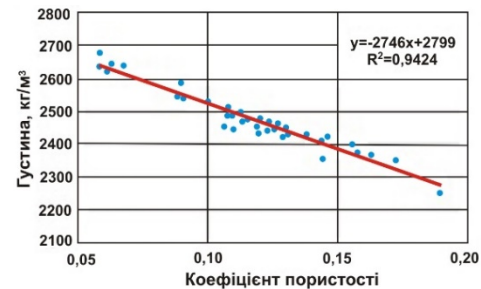


Рис. 4. Залежність густини порід від коефіцієнта пористості (пісковики, насичені розчином NaCl)

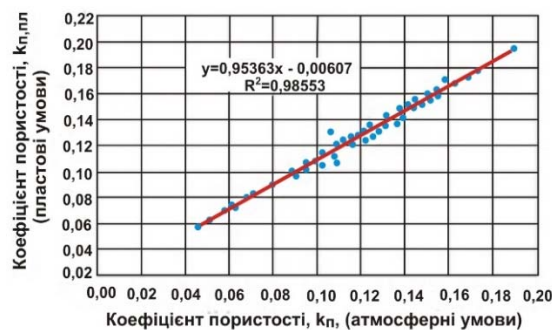


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтами пористості за пластових ($k_{п,пл}$) та атмосферних ($k_{п}$) умов

Через закриття мікротріщин під навантаженням порід під час моделювання пластових умов пористість порід зменшується порівняно з пористістю в атмосферних умовах. Аналіз даних показує, що для досліджених порід відносне зниження коефіцієнта пористості при зміні атмосферних умов на пластові становить від 4,5 до 13,8 % за середнього значення 9,0 %.

Проникність. Властивість породи пропускати флюїди називається проникністю. Проникність породи залежить від її ефективної пористості, отже, на неї впливають розмір зерен породи, їхня форма, просторовий розподіл зерен за розмірами (сортуння), а також їхня упаковка, ступінь консолідації й цементації. Тип глинистого або іншого цементувального матеріалу між піщаними зернами також впливає на проникність, особливо за присутності води. Деякі глинисті мінерали, зокрема смектит (бентоніти) і монтморилоніт, розбухають у воді й можуть частково або повністю закупорювати пустотний простір (Тиаб, Доналдсон, 2009; Порода..., 1985).

Коефіцієнт проникності ($k_{пр}$) характеризує абсолютну проникність, якщо порода на 100 % насичена одним флюїдом (фазою), таким як газ ($k_{прг}$), нафта ($k_{прн}$) або вода ($k_{прв}$). Якщо в породи присутні більше одного флюїду, проникність для кожного з них є фазовою, при цьому

коефіцієнти проникності $k_{прг}$, $k_{прн}$, $k_{прв}$ характеризують ефективну фазову проникність для газу, нафти і води відповідно. Під час руху пустотними каналами пластові флюїди взаємодіють між собою, заважаючи один одному, тому сума ефективної проникності всіх трьох фаз завжди менша абсолютної проникності. Якщо в породи присутні більше одного флюїду, відношення ефективної проникності будь-якої фази до абсолютної проникності породи називають відносною проникністю (k_r) для цієї фази. Наприклад, відносні проникності для нафти, газу і води будуть $k_{гн} = k_{прн}/k_{пр}$, $k_{гг} = k_{прг}/k_{пр}$, $k_{гв} = k_{прв}/k_{пр}$ відповідно (Дахнов, 1975; Тиаб, Доналдсон, 2009).

Нафтові й газові колектори можуть мати первинну проникність, яка відома також як проникність матриці (мінерального каркасу) породи, і вторинну проникність. Проникність матриці утворюється під час відкладення і літфікації (консолідації) осадових порід. Вторинна проникність є результатом зміни матриці породи за рахунок ущільнення, цементації, утворення тріщин і вилугування. Ущільнення і цементація зазвичай зменшують проникність, тоді як утворення тріщин і вилугування мають тенденцію збільшувати їх. У деяких породах, особливо в низькопористих карбонатах і аргілітах, саме за рахунок вторинної проникності відбувається основна міграція флюїдів.

Проникність порід-колекторів нафти і газу може змінюватися в діапазоні від 0,1 до 1000 фм², інколи й більше. Якість колектора обумовлена його проникністю, яка ділиться на низьку – $k_{пр} < 1$ фм²; задовільну – $k_{пр} = 1–10$ фм²; середню – $k_{пр} = 10–50$ фм²; високу – $k_{пр} = 50–250$ фм²; дуже високу – $k_{пр} > 250$ фм² (Дахнов, 1975; Туаб, Доналдсон, 2009). Колектори з проникністю нижче 1 фм² вважаються ущільненими. Така низька проникність зазвичай властива аргілітам, алевролітам, щільним газоносним пісковикам, матриці вапняків. Такі заходи інтенсифікації продуктивних товщ, як гідророзрив і кислотна обробка пласта, підвищують проникність порід і дозволяють вести видобуток вуглеводнів із колекторів, які раніше вважалися некондиційними.

Коефіцієнт проникності зразків керна визначався методом стаціонарної фільтрації азоту за допомогою спеціально розробленої установки (Породы..., 1985). Середня відносна похибка визначень коефіцієнта проникності становила 2,8 %.

Межі змін і середні значення коефіцієнта проникності для порід верхнього карбону (С₃) загалом, а також порід різної літології й приуроченості до перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н Руновщинської площі наведено в табл. 3.

У результаті аналізу лабораторних визначень коефіцієнта проникності порід установлено, що цей параметр змінюється від 0,03 фм² до 240,57 фм² за його середнього значення 11,87 фм². Згідно з існуючою класифікацією порід-колекторів за їхньою проникністю (Дахнов, 1975) різні типи досліджених порід верхнього карбону Руновщинської площі за цим параметром належать до V–II класів колекторів: до V класу колекторів (проникність дуже низька) – 21,5 % зразків; до IV класу колекторів (проникність низька) – 56 % зразків; до III класу колекторів (проникність середня) – 21,6 % зразків; до II класу колекторів (проникність висока) – 0,9 % зразків (рис. 6, а).

Таблиця 3

Межі змін і середні значення фільтраційних параметрів порід верхнього карбону

№	Вибірки	№ зразка керна	Коефіцієнт проникності, $k_{пр}$, фм ²	Коефіцієнт залишкового водонасичення, $K_{з.в.}$
1	верхній карбон С ₃	сер.	11,5	0,37
		мін.	0,03	0,02
		макс.	240,6	0,89
2	apinit	сер.	13,5	0,62
		мін.	0,12	0,10
		макс.	61,3	0,89
3	гравеліт	сер.	4,2	0,64
		мін.	4,2	0,62
		макс.	4,2	0,65
4	піскови́к	сер.	11,8	0,34
		мін.	0,03	0,02
		макс.	240,6	0,75
5	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-6, (гл. 3137,9–3160,0 м)	сер.	5,52	0,37
		мін.	0,07	0,08
		макс.	53,59	0,73
6	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7в, (гл. 3209,1–3232,5 м)	сер.	23,02	0,33
		мін.	0,37	0,02
		макс.	240,57	0,65
7	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт, Г-7н, (гл. 3252,2–3270,9 м)	сер.	7,11	0,32
		мін.	0,01	0,12
		макс.	81,56	0,75

Коефіцієнт залишкового водонасичення. Під час лабораторних петрофізичних досліджень цей параметр визначався способом зважування зразків з їхнім центрифугуванням за допомогою центрифуги ОС-6М. Обертота швидкість ротора центрифуги змінювалась від 1000 до 6000 об./хв із кроком 1000 об./хв, а тиск витіснення – від 0,2 до 1 МПа (Породы..., 1985; Рудько, 2005). Дані про коефіцієнт залишкового водонасичення наведено в табл. 3.

У результаті аналізу лабораторних визначень коефіцієнта залишкового водонасичення порід верхнього карбону встановлено, що цей параметр змінюється від 0,02 до 0,89 за його середнього значення 0,36. За визначеними коефіцієнтами залишкового водонасичення порід та існуючою відповідною класифікацією колекторів (Дахнов, 1975) отримано такий розподіл досліджених зразків порід свердловини 110 за класами їхніх колекторських властивостей: до V класу колекторів (з дуже низькими колекторськими властивостями) належать 7,6 % зразків; до IV класу колекторів (з низькими колекторськими властивостями) – 14,3 % зразків; до III класу колекторів (із середніми колекторськими властивостями) – 40 % зразків; до II класу колекторів (з високими колекторськими властивостями) – 32,4 % зразків; до I класу колекторів (з дуже високими колекторськими властивостями) – 5,7 % зразків (рис. 6, б).

Кореляційним аналізом установлено ряд емпіричних залежностей між коефіцієнтом пористості та ефективною

пористості, коефіцієнтом проникності та коефіцієнтом залишкового водонасичення перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н свердловини 110:

– горизонт Г-6, (3137,9–3160,0 м):

$$k_{пр} = 8,0621 \cdot 10^4 \cdot k_n^{4,7086}, \quad (R^2 = 0,638);$$

$$k_{зв} = -8,0222 \cdot k_n + 1,2212, \quad (R^2 = 0,736);$$

$$k_{зв} = -0,121 \cdot \ln k_{пр} + 0,4549, \quad (R^2 = 0,791);$$

$$k_{неф} = 0,0186 \cdot \ln k_{пр} + 0,057, \quad (R^2 = 0,773);$$

– горизонт Г-7в, (3209,1–3232,5 м):

$$k_{пр} = 2 \cdot 10^8 \cdot k_n^{8,4433}, \quad (R^2 = 0,720);$$

$$k_{зв} = -5,7306 \cdot k_n + 1,039, \quad (R^2 = 0,701);$$

$$k_{зв} = 0,4605 \cdot k_{пр}^{-0,426}, \quad (R^2 = 0,508);$$

– горизонт, Г-7н, (3252,2–3270,9 м):

$$k_{пр} = 1,0242 \cdot 10^5 \cdot k_n^{5,0593}, \quad (R^2 = 0,402);$$

$$k_{зв} = 0,3837 \cdot k_{пр}^{-0,297}, \quad (R^2 = 0,725).$$

Як приклад на рис. 7–9 наведено графіки кореляційних залежностей для горизонту Г-6.

Варто відмітити, що наведені вище залежності з прийнятними коефіцієнтами кореляції вдається отримати лише для окремих літологічних горизонтів.

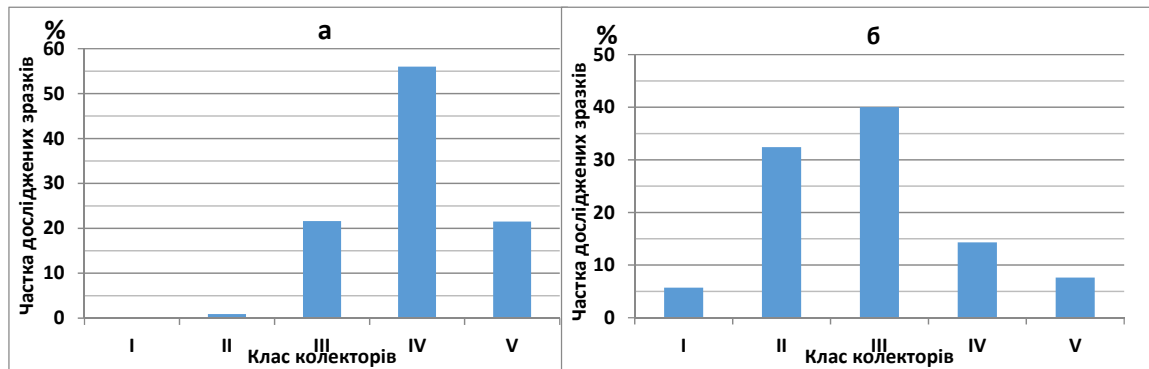


Рис. 6. Гістограми класифікації колекторських властивостей досліджених зразків: а – за коефіцієнтами проникності; б – за коефіцієнтами залишкового водонасичення

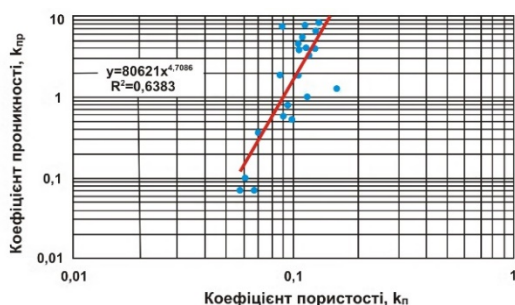


Рис. 7. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (K_n) і коефіцієнтом проникності ($K_{пр}$). Горизонт Г-6

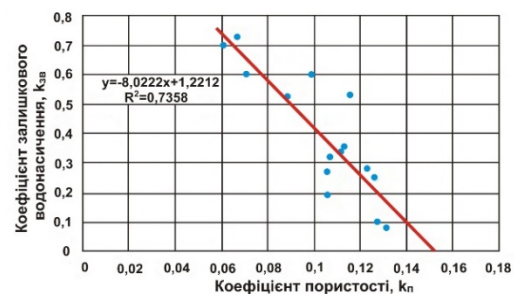


Рис. 8. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (K_n) і коефіцієнтом залишкового водонасичення ($K_{зв}$). Горизонт Г-6

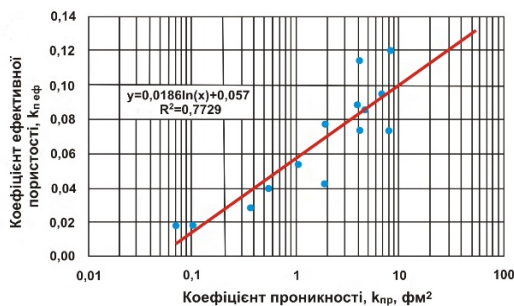


Рис. 9. Кореляційна залежність між коефіцієнтом проникності ($K_{пр}$) і коефіцієнтом ефективною пористості ($K_{п.еф}$). Горизонт Г-6

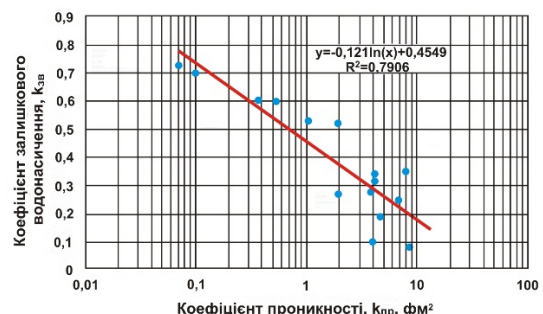


Рис. 10. Кореляційна залежність між коефіцієнтом проникності ($K_{пр}$) і коефіцієнтом залишкового водонасичення ($K_{зв}$). Горизонт Г-6

Висновки. Породи верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими зі слабким зеленуватим відтінком, середньо- й крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією, однорідної нешаруватої текстури, ускладненої присутністю прошарків аргілітів і пісковиків із гравійним матеріалом. Пісковики середнього ступеня цементзації, пористі, нетріщинуваті. В інтервалі глибин 3158–3164 м розріз представлений міцно зцементованими аргілітами темно-коричневого кольору із строкатим коричнево-сірим забарвленням. В їхньому складі відсутній карбонат і майже відсутня слюда. Аргіліти несланцюваті або слабкосланцюваті. В інтервалі глибин 3217–3229,7 м породи представлені пісковиками світло-сірими, середньозернистими до крупнозернистими і гравелистими, пористими, шарами гідрофобними із запахом вуглеводнів. Гравійні утворення представлені доломітизованими мікритовими вапнистими мерелями зональної будови.

Об'ємна густина сухих зразків змінюється від 2122 до 2615 кг/м^3 за її середнього значення 2318 кг/м^3 , а зразків,

насичених рідиною, – від 2265 до 2680 кг/м^3 за її середнього значення 2449 кг/м^3 . Уявна мінералогічна густина досліджених порід змінюється від 2562 до 2786 кг/м^3 за її середнього значення 2650 кг/м^3 . Широка межа зміни густини досліджених порід свідчать про мінливість їхнього літологічного складу та пористості.

У результаті аналізу даних лабораторних вимірювань пористості порід газоволюметричним способом встановлено, що коефіцієнт пористості змінюється від 0,066 до 0,203 за середнього значення 0,145. Пористість досліджених порід, визначена насиченням рідиною, змінюється від 0,058 до 0,190 за середнього значення 0,126. Аналіз отриманих результатів лабораторних досліджень зразків порід різних горизонтів дозволив установити для них кореляційні залежності між густиною порід та їхніми коефіцієнтами пористості, які описуються лінійними функціями.

Виконано класифікацію порід за пористістю. За значеннями коефіцієнта пористості досліджені породи верхнього карбону Руновщинської площі належать до IV–II класів

колекторів. Пористість їх змінюється від низької, з коефіцієнтом пористості 0,05–0,1, до високої, з коефіцієнтом пористості $> 0,2$. За результатом вимірювань пористості насиченням зразків азотом до IV класу колекторів (пористість низька) належать 6,5 % зразків, до III класу колекторів (пористість середня) належать 92,8 % зразків і до II класу колекторів (пористість висока) належать 0,7 % зразків. За результатом вимірювань пористості насиченням зразків рідиною до IV класу колекторів (пористість низька) відноситься 12,8% зразків, до III класу колекторів (пористість середня) відноситься 87,2% зразків.

У результаті аналізу даних лабораторних досліджень пористості порід у змодельованих пластових умовах встановлено, що цей параметр змінюється від 0,038 до 0,175 за середнього значення 0,11. Установлені також кореляційні залежності між коефіцієнтами пористості, вимірюваними в атмосферних і пластових умовах способом насичення зразків рідиною. Ця залежність описується лінійною функцією. Унаслідок закриття мікротріщин від навантаження порід під час моделювання пластових умов пористість зменшується порівняно з атмосферними умовами, при цьому відносно зниження коефіцієнта пористості для різних порід становить від 4,5 до 13,8 % за середнього значення 9,0 %.

Аналіз лабораторних визначень коефіцієнта проникності порід свідчить, що цей параметр змінюється в межах від 0,03 до 240,57 фм² за його середнього значення 11,87 фм². За значеннями коефіцієнта проникності досліджені зразки порід верхнього карбону належать до V–II класів колекторів, із них до V класу (проникність дуже низька) – 21,5 % зразків, до IV класу (проникність низька) – 56 % зразків, до III класу (проникність середня) – 21,6 % зразків, до II класу (проникність висока) – 0,9 % зразків.

Лабораторними дослідженнями порід верхнього карбону встановлено, що їхній коефіцієнт залишкового водонасичення змінюється в межах від 0,02 до 0,89 за його середнього значення 0,36. За цим параметром породи свердловини 110, представлені в досліджених зразках, належать до V–I класів колекторів, із них до V класу колекторів (з дуже низькими колекторськими властивостями) належать 7,6 % зразків; до IV класу колекторів (з низькими колекторськими властивостями) – 14,3 % зразків; до III класу колекторів (із середніми колекторськими властивостями) – 40 % зразків; до II класу колекторів (з високими колекторськими властивостями) – 32,4 % зразків; до I класу колекторів (з дуже високими колекторськими властивостями) – 5,7 % зразків.

Кореляційний аналіз результатів дослідження зразків гірських порід дозволив отримати низку емпіричних залежностей між коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом проникності та коефіцієнтом залишкового водонасичення перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н свердловини 110. Види функцій отриманих рівнянь регресії між зазначеними параметрами такі: "коефіцієнт залишкового водонасичення – коефіцієнт пористості" – лінійна; "коефіцієнт проникності – коефіцієнт ефективної пористості" та "коефіцієнт проникності – коефіцієнт залишкового водонасичення" – логарифмічна; "коефіцієнт пористості – коефіцієнт проникності" – степенева. Варто зазначити, що кореляційні зв'язки, отримані з прийнятними коефіцієнтами кореляції, вдається встановити лише для окремих літологічних горизонтів.

Аналіз результатів комплексних петрофізичних досліджень порід свердловини 110 Руновщинської площі ДДЗ показує, що перспективні нафтоносні інтервали горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н характеризуються загалом підвищеними значеннями фільтраційно-ємнісних параметрів.

Список використаних джерел

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

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, Д.І., Онищук, І.І. (2013). Петрофізичні параметри нетрадиційних порід-колекторів Південного нафтогазового регіону. Геоінформатика, 3 (47), 1–9.

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

Вижва, С.А., Онищук, І.І. та ін. (2014). Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. Науково-технічний звіт. Корпорація "Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка".

Вижва, С.А., Рева, М.В., Гожик, А.П., Онищук, В.І., Онищук, І.І. (2010). Петроелектричні дослідження керна складнопобудованих порід-колекторів. Вісник Київського національного університету. Геологія, 50, 4–7.

Вижва, С.А., Михайлов, В.А., Онищук, І.І. (2017). Петрофізические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. Вісник Київського національного університету. Геологія, 79, 12–20.

Дахнов, В.Н. (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. М.: Недра.

Дортман, Н.Б. (Ред.). (1992). Петрофизика. Справочник. Ч.1. Недра.

Дортман, Н.Б. (Ред.). (1992). Петрофизика. Справочник. Ч.2. Недра.

Инструкция по определению емкостных свойств пород в производственных лабораториях министерства геологии УССР. (1977). Львов, УкрНИГРИ.

Коефіцієнт залишкового водонасичення гірських порід. ГСТУ 41-00032626-00-025-2000. (2001). К.: Мінекоресурсів України.

Маслов, Б.П., Онищук, І.І., Шинкаренко, А.В. (2017). Моделювання нелінійних в'язко-пружних властивостей терригенно-вапняковистих пісковиків. Вісник Київського національного університету. Геологія, 99–105.

Михайлов, В.А., Вижва, С.А., Загнітко, В.М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Кн. IV. ВПЦ "Київський університет".

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

Нестеренко, М.Ю. (2010). Петрофізичні основи обґрунтування флюїдо-донасичення порід-колекторів. УкрДГРІ.

Породы горные. (1985). Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации: ГОСТ 26450.2-85. Москва: Мингео СССР.

Рудько, Г.І., Нестеренко, М.Ю. та ін. (2005). Обґрунтування кондиційних значень фільтраційно-ємнісних параметрів терригенних порід-колекторів для підрахунку запасів вуглеводнів. Методичні вказівки. Київ-Львів.

Тиаб, Дж., Дональдсон, Эрл Ч. (2009). Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. "Премиум Инжиниринг".

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

Reference

Coefficient of residual water saturation of rocks. GATS 41-00032626-00-025-2000. (2001). K.: Ministry of Natural Resources of Ukraine.

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

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

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

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

Mykhailov, V.A., Kurovets, I.M., Synkovskyy, Ju.N. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine: South oil and gas region. Book III. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]

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

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

Rudko, G.I., Nesterenko, M.Yu. et al. (2005). Substantiating of the conditioning data of the reservoir parameters of terrigenous reservoirs for calculation of hydrocarbon reserves. Methodology guidelines. Kyiv-Lviv: UkrDHRi. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Onyshchuk, I. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells. Report. Science Park Kyiv Taras Shevchenko University. Kyiv. [in Ukrainian]

The instruction for determining the storage capacity of rocks in production laboratories of the Ministry of Geology of the Ukrainian SSR. (1977). Lviv: Ukrainian Research Mining Institute. [in Russian]

The rocks. (1985). Methods for determination of reservoir properties. Method for determination of absolute permeability coefficient under stationary and non-stationary filtration (GOST 26450.2–85). Moscow: Mingeo USSR. [in Russian]

Tiab, D., & Donaldson, E.C. (2009). Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport (2th Edition). Moscow: Premium Engineering. (Original work published 2004). [in Russian]

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

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

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

Vyzhva, S.A., Mykhailov, V.A., & Onyshchuk, I.I. (2014). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-Donets depression promising for shale gas. Geofizicheskiy Zhurnal, 36, 2, 145–157. [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Mykhailov, V.A., Onyshchuk, D.I., & Onyshchuk, I.I. (2013). Petrophysical parameters of unconventional types of reservoir rocks from southern oil-and-gas region. Geoinformatics, 3 (47), 17–25. [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Reva, M.V., Hozhyk, A.P., Onyshchuk, V.I., Onyshchuk, I.I. (2010). Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-build reservoir rocks. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology, 50, 4–7. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 19.07.18

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

E-mail: vyzhva_s@ukr.net

V. Onyshchuk, PhD (Geol.),

E-mail: vitus16@ukr.net

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

E-mail: oivan1@ukr.net

M. Reva, Ph.D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,

E-mail: mvreva@gmail.com

O. Shabatura, PhD (Geol.), Email: dard@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

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

RESERVOIR FEATURES OF THE UPPER CARBON SEDIMENTS (RUNOVSHCHYNSKA AREA OF THE DNEIPER-DONETS BASIN)

The main objective of this article is to highlight the results of investigations of filtration capacity features of sandstones and argillites of the Upper Carbon rocks in Runovshchynska area of The Dnieper-Donets basin. The purpose of the research was to assess the promising rocks as possible hydrocarbon reservoirs. The following reservoir features of rock samples such as the open porosity factor, permeability coefficients and residual water saturation factor have been investigated. The correlation of rock density with their porosity was also studied. The porosity study was carried out in atmospheric and reservoir conditions by gas volumetric method and fluid saturation.

The bulk density of dry rock samples varies from 2,122 kg/m³ to 2,615 kg/m³ (average 2318 kg/m³), saturated rocks – from 2265 to 2680 kg/m³ (average 2449 kg/m³), and the specific matrix density – from 2562 to 2786 kg/m³ (average 2650 kg/m³).

The open porosity coefficient of the studied rocks, in case they were saturated with the synthetic brine, varies from 0.058 to 0.190 (mean 0.126), but if they were saturated with N₂ it varies from 0.066 to 0.203 (mean 0.145). Detailed analysis of reservoir conditions modeling revealed that porosity coefficient varies from 0.038 to 0.175 (mean 0.110). Due to the closure of microcracks under rock loading reduced to reservoir conditions the porosity decreases in comparison with atmospheric conditions, which causes a relative decrease in the porosity coefficient from 4.5% to 13.8% (mean 9.0%) from atmospheric conditions to reservoir conditions.

The permeability coefficient of rocks varies from 0.03 fm² to 240.57 fm² (mean 11.87 fm²). The residual water saturation factor of rocks varies from 0.02 to 0.89 (mean 0.36). The classification of the reservoir characteristics of the investigated samples by the permeability coefficients and residual water saturation factors has been fulfilled.

The correlation analysis has allowed establishing a series of empirical relationships between the reservoir parameters of the studied rocks (density, porosity coefficient, permeability coefficient and residual water saturation factor).

The results of complex petrophysical researches indicated that the promising oil-bearing intervals of the horizons G-6, G-7v, G-7n have, in general increased values of reservoir parameters.

Keywords: filtration-capacitive parameters, density, porosity, permeability, residual water saturation, correlation dependencies, sandstones, mudstones.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: vsa@univ.net.ua

В. Онищук, канд. геол. наук,

E-mail: vitus16@ukr.net

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

E-mail: oivan1@ukr.net

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.,

E-mail: mvreva@gmail.com

А. Шабатура, канд. геол. наук,

E-mail: dard@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ВЕРХНЕГО КАРБОНА (НА ПРИМЕРЕ РУНОВЩИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ДДВ)

Рассмотрены результаты исследований фильтрационно-емкостных свойств песчаников и аргиллитов верхнего карбона Руновщинской площади Днепровско-Донецкой впадины.

Установлено, что объемная плотность сухих образцов пород изменяется от 2122 кг/м³ до 2615 кг/м³ (среднее 2318 кг/м³), пород, насыщенных жидкостью – от 2265 до 2680 кг/м³ (среднее 2449 кг/м³), кажущаяся минералогическая плотность – от 2562 до 2786 кг/м³ (среднее 2650 кг/м³).

Коэффициент открытой пористости исследованных пород при их насыщении моделью пластовой воды меняется от 0,058 до 0,190 (среднее 0,126), а при насыщении N₂ – от 0,066 до 0,203 (среднее 0,145). При моделировании пластовых условий установлено, что коэффициент пористости изменяется от 0,038 до 0,175 (среднее 0,110). Вследствие закрытия микротрещин при нагрузке пород (приведение к пластовым условиям) пористость уменьшается по сравнению с атмосферными условиями, что вызывает относительное снижение коэффициента пористости при переходе от атмосферных условий к пластовым от 4,5 до 13,8 % (среднее 9,0 %).

В результате исследований определено, что коэффициент проницаемости пород изменяется от 0,03 до 240,57 фм² (среднее 11,87 фм²). Коэффициент остаточного водонасыщения пород изменяется от 0,02 до 0,89 (среднее 0,36). Выполнена классификация коллекторских свойств исследованных образцов по коэффициентам проницаемости и остаточного водонасыщения.

Проведенный корреляционный анализ позволил получить ряд эмпирических зависимостей между фильтрационно-емкостными параметрами исследованных пород (плотность, коэффициент пористости, коэффициентом проницаемости и коэффициентом остаточного водонасыщения).

Полученные результаты комплексных петрофизических исследований свидетельствуют, что перспективные нефтеносные интервалы горизонтов Г-6, Г-7в, Г-7н, образцы пород которых изучались, в целом имеют повышенные значения фильтрационно-емкостных параметров.

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

УДК 550.34

O. Chalyi¹, Geophysicist
 M. Diaconescu², Researcher
 I. Gurova¹, Senior Researcher
 Y. Lisovyi¹, Researcher
 P. Pigylevsky¹, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher
 S. Shcherbina¹, PhD (Phys.-Math.), Senior Researcher
 A. Shevtsov³, Researcher
 L. Shumlanska¹, PhD (Geol.), Junior Researcher
¹Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine,
 32 Palladina Ave., Kyiv, 03860, Ukraine
²National Institute for Earth Physics, Magurele, Romania
³Dragomanov University, Kyiv, Ukraine

THE CAUSE OF HIGH INTENSITY OF SEISMICITY IN UKRAINE

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим и чл.-кор. НАН України О.В. Кендзерою)

In the article, the earthquake near Sumy is considered in detail. According to the authors, this earthquake occurred under the influence of several stress regimes. At the regional level: it is related to the transfer of stresses from the Vrancea zone along the mantle lineament of Sollogub; a change in the local stress field, which is created by blocks with different thicknesses of the earth's crust, with the presence of subcrustal thermal anomalies. The area of the location of the earthquake focus near the town of Sumy in tectonic terms is on the southwestern slope of the Voronezh crystalline massif near the northeastern side of the Dnieper-Donets Basin (DDB). The epicenter is confined to the northern extension of the Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone. The earthquake focus is confined to the tectonic node formed by the eastern edge fault of the Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone and the northern side fracture of the DDB. The main deep faults near the source of the earthquake are the northern side fault of the DDB rift and the northern extension of the Krivyy Rig-Kremenchug fault. The hypocenter of the event is in the area with sharp change in the structural plan of the Moho surface accompanied by a negative mantle gravitational anomaly. In the relief of the Moho surface, a superimposition of the structural plan of the northwestern direction, connected with the Devonian rift of the DDV, on the ancient structural plan of the Ukrainian shield and Voronezh crystalline massive is clearly visible. Within the DDV, the isohypses of the Moho surface clearly delineate the ascent to ~ 35 km in the central part of the rift. The Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone is expressed in the Moho surface by a narrow elongated depression with depths of more than 50 km in the central part. Here, in the lower part of the cortex, the development of the crust-mantle mixture is observed. The Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone is also distinguished by the development of high-intensity deep magnetic inhomogeneities along it. In addition, here in the lower part of the crust and in the upper mantle a linear object of high electrical conductivity is isolated. Thus, the earth's crust of the region has a pronounced physico-geological heterogeneity, which creates instability of lithostatic stress, and this, in turn, is a prerequisite for the appearance of additional stresses.

Keywords: deep fault, mantle fault, magnitude, earthquake, intensity, Vrancea.

Introduction. The heterogeneity of the lithosphere is an important source of the local stress system. Local stress system being under the influence of regional and supra-regional stress systems can come to an unstable state, which is reflected in the activation of seismic processes.

The internal additional stresses resulting from the heterogeneity of the geological environment are distributed unevenly in volume, but in accordance with the heterogeneity of the structure of the earth's crust. Local regions of increased stresses of different scales are formed. Discharge of stresses also occurs discretely and is determined by the nature of the setting structure.

Stresses and deformations of the crust are determined mainly by the regional properties of the setting, the type of deformation mechanism, and the structural features of this section of the crust: the presence of inhomogeneities of various nature and different scales (discontinuities, stratification, blockiness, and various inclusions) in it.

The greatest attention in studies of local stress fields is given to the precisely those local stress fields that are formed in a heterogeneous medium under the influence of regional stresses. At the same time, physico-geological heterogeneities in the structure of the earth's crust and the upper mantle can themselves be sources of considerable stresses and create their own local fields that substantially alter and complicate the stress system in a particular section of the earth's crust.

Local additional stresses can be created by such factors as:

- the relief load or abnormal density of the overlying layer, under the influence of loads of the overlying layer with anomalous density, the underlying layer tends to "spread out";
- a difference in the thickness of the earth's crust create additional stresses, the average value of the additional stresses due to variations in power equals the additional load. The difference in the thickness of the earth's crust of 5 km at a constant density of the crust can create additional

stresses, which can cause an earthquake of magnitude more than 5 (Leonov, 1995);

- the erosion process, which changes the thickness of the upper sedimentary layer, and changes the existing stress fields;

• local disturbances of isostasy and its restoration, heterogeneous geological environment constantly tends to isostatic equilibrium at various levels in the lithosphere, for example, the effect of isostasy on local seismicity after melting of the ice sheet on the Scandinavian Peninsula is well studied (Fjeldskaar et al., 2000);

- physico-chemical processes, accompanied by a change in volume and mass transfer.

Analyses of factors affect the seismicity of the territory of Ukraine. V.B. Sollogub (Sollogub 1986) wrote about the surface of the asthenosphere that has a north-east direction and attributes to extension that propagated about 200–250 kilometers from Bucharest to Khar'kiv. This lithosphere avlakogene is limited by mantle lineaments in the same direction (Fig. 1, 2). This structure passes through the whole territory of Ukraine in south-western direction to Vrancea zone and on this structure several strongest earthquakes on territory of Ukraine (Krivyy Rig, Sumy region) and Romania are localized. These earthquakes were thoroughly investigated by means of instrumental and macroscopic methods. During the current research, it was revealed that the intensity and position of the epicenters indicate the necessity to use the uninterrupted regime of observation for locations of earthquakes. Earthquakes in these regions are not only very interesting from the viewpoints of science, but they can represent a threat to the safety of local people. Subject of our research in this article is important for understanding the stress regime interaction of tectonic processes that develop in the Dnieper-Donetsk basin and the Ukrainian shield with strong earthquakes on the territory.

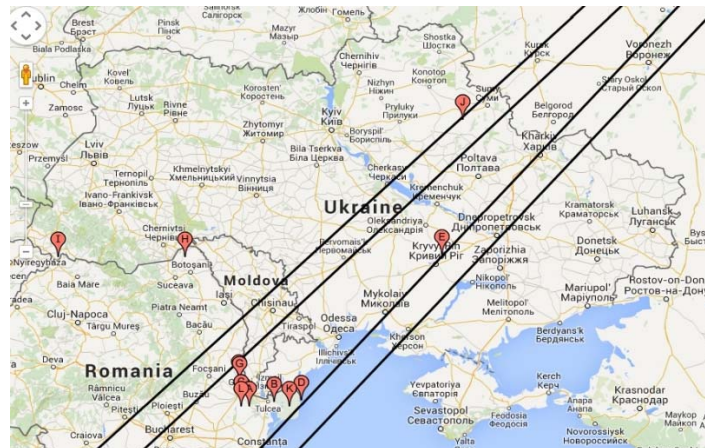


Fig. 1. The mantle lineaments (Соллогуб, 1986) that pass through Sumy area and seismic active zone Vrancea with epicenters of Ukrainian and Ukrainian-Romanian earthquakes for last five years

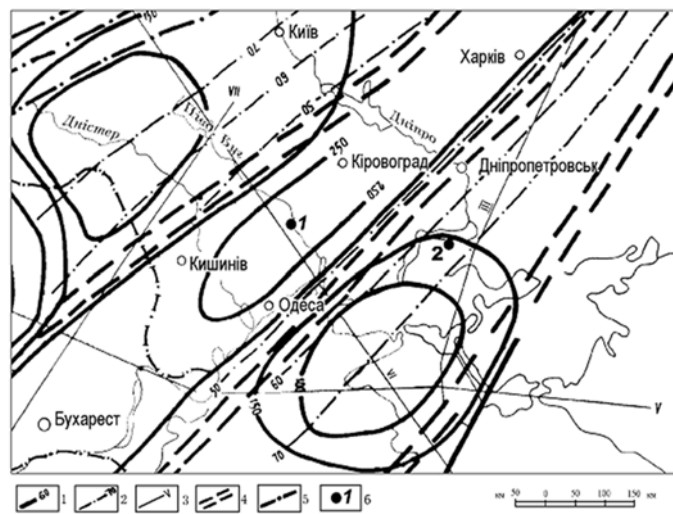


Fig. 2. Block diagram of the upper mantle according to the DDD (Соллогуб, 1986):

- 1 – asthenosphere surface contour line, km; 2 – surface layer with low velocity in the upper mantle, km; 3 – DDD profiles; 4 – mantle lineaments north-east, 5 – mantle lineaments; 6 – nuclear stations (1 – South-Ukrainian, 2 – Zaporizhia)

One of the most probable causes of earthquakes on our territory is the presence of an active form of neotectonic movement of deep faults in crust and under crust mantle on territory of Ukraine. The reason for the growth of seismicity is probably connected with some serious global problems. One from is based on increasing of the world annual average temperature (Fig. 3).

It is the greenhouse effect by which the Earth's atmosphere keeps the heat received from the Sun and it is increasing due to emissions of industrial and agricultural enterprises (Fig. 4).

The growing of the average value of the temperature may produce the significant influence on seismic activity of the Earth owing to the influence on thermodynamics conditions in the mantle especially on its subsurface part - lithosphere containing almost all seismic tremors events. Fig. 5 shows the histogram with all world seismic events from 2011 till now with magnitudes from 0.0 to 9.9. If the first maximal value of the quantity world's earthquakes coincides with activity of the Sun (especially from 2014-02-01 to 2014-06-30), second maximal values have grown from second part of 2016 till now (Fig. 5). It is preliminary compared by an empirically approach only, because it requires an additional investigation.

Two significant dangerous natural processes, that are: growing of a global mean surface temperature (Fig. 3) and global seismic activity (Fig. 5) make us scientifically worry about local seismicity in our country and about near areas –

Romania, Poland and Russia (Caucasus). There is a real evidence of the influence of the growing global mean surface temperature on tectonic structure of the Earth that may produce a new type of seismic events that may have a form of records as nuclear explosions (*National Centers for Environmental Information, n.d.*).

The growing worldwide seismicity may have weak influence on seismicity in Ukraine because, as we know, this country is basically placed on stable tectonic structure of Ukrainian shield. For preliminary estimation a level of seismic activity must be viewed to analyze some seismic records of Ukrainian earthquakes that happened. For this preliminary empirical analyzing we used the graph of seismic intensity that was taken from EMSC world seismic data, Real Time Seismicity of the European-Mediterranean Seismological Centre from November 2004 to April 2017 year (*European Mediterranean Seismological Center, n.d.*).

The dynamics of seismic process on territory of Ukraine may be interpreted as unstable because the level of this process is significantly random (Fig. 6). The high level of the randomness of this local process is based on absent of active subduction zones which may be found in active tectonic areas of the Indonesia or Southern America, for example. The value of Ukrainian earthquake's quantity achieved the maximum in period of time between 2011 and 2015 (Fig. 6). This level of maximal val.square (50px) may be based on interaction of global seismicity process and 11-year activity of the Sun (*Shcherbyna, 2013*).

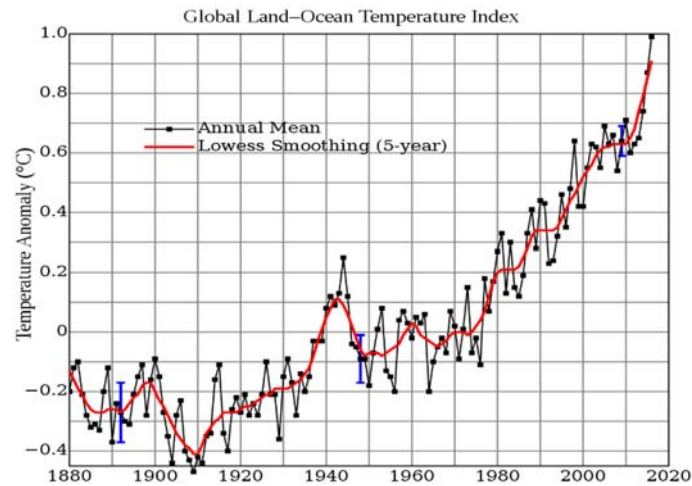


Fig. 3. Global mean surface temperature change from 1880 to 2016, relative to the 1951–1980 mean (Temperature record, n.d.)

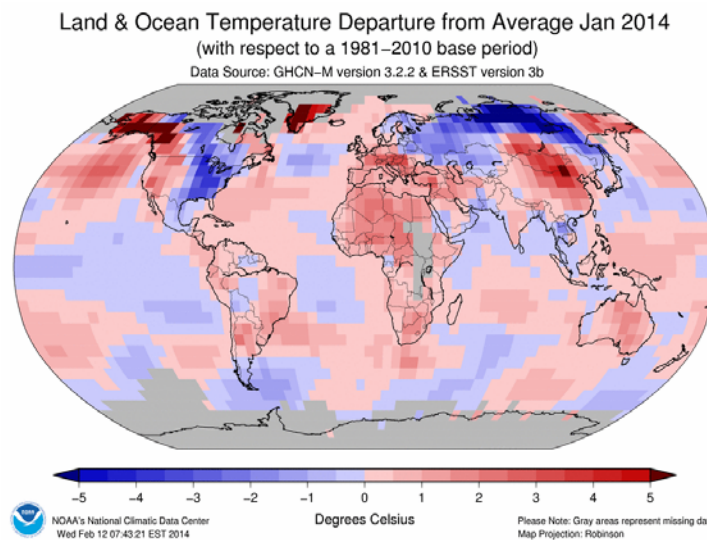


Fig. 4. In the atmosphere, seas and around the poles – everywhere on the Earth's climate reached alarming new levels (Temperature record, n.d.)

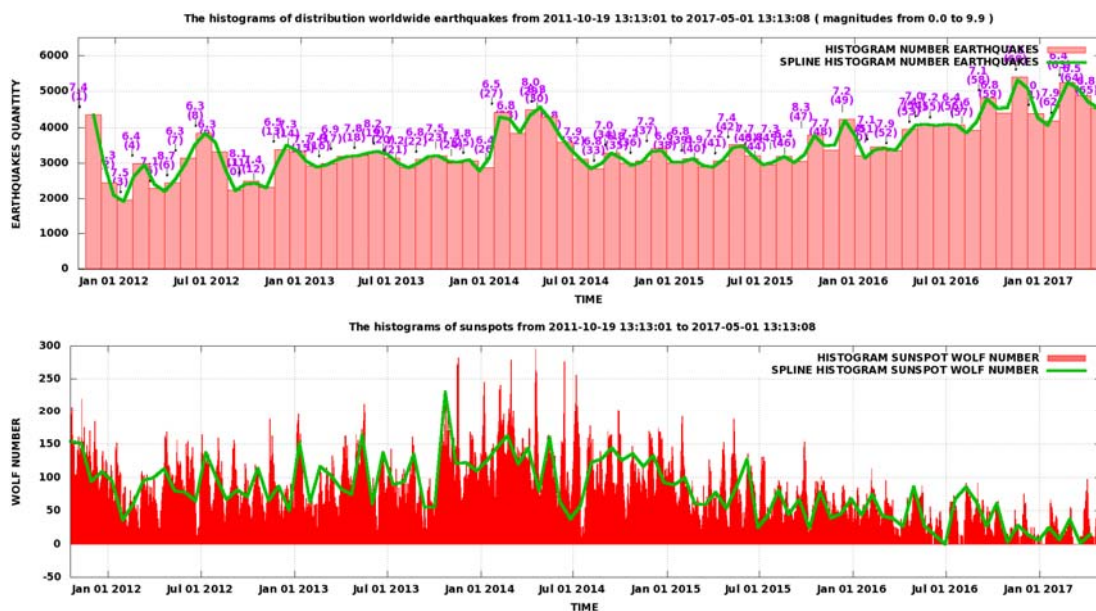


Fig. 5. The global seismic activity of the Earth from October 2011 to May 2017. Top – histogram of the earthquakes quantity, bottom – Wolf number. Relationships between all earthquakes and sunspot number from: 2011-10-19 to: 2017-05-01 (Temperature record, n.d.)

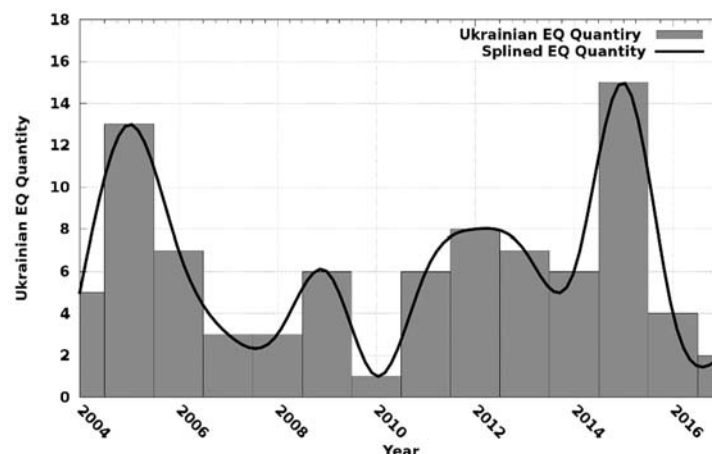


Fig. 6. The temporal distributions of the quantity Ukrainian earthquakes by years from November 2004 to April 2017

The global map of these seismic events shows (Fig. 7) that the basic part of them is placed in Carpathian area that is nearer to Vrancea active tectonic structure. Other parts of this seismic area are distributed in active or passive zones that are near to Romania-Odessa region, Crimea Region, Caucasus Region, Sumy area, Krivyy Rig area and Mariupol' area. There is one earthquake that may be viewpointed from our preliminary hypothesis and may have a direct relation with Romanian seismic active zone Vrancea. The earthquake that happened on 03 February 2015 in hypocenter that is near to town Sumy in North of Ukraine (Shumlianska *et al.*, 2015)

(Fig. 7). The coordinates of the epicenter were obtained, as well as the depth of the source. The calculated depth of the hypocenter 54 km was verified in several ways: the deep phases pP, sP were identified for remote stations; a direct kinematic problem was calculated for Poltava station for two different depths of the earthquake focus of 10 and 54 km. It is shown that the best result is a solution with a depth of 54 km. This depth of the focus refers to the zone of the depth difference of the Moho surface, as well as the gradient zone of the temperature anomaly – an unstable zone where additional stresses appear.

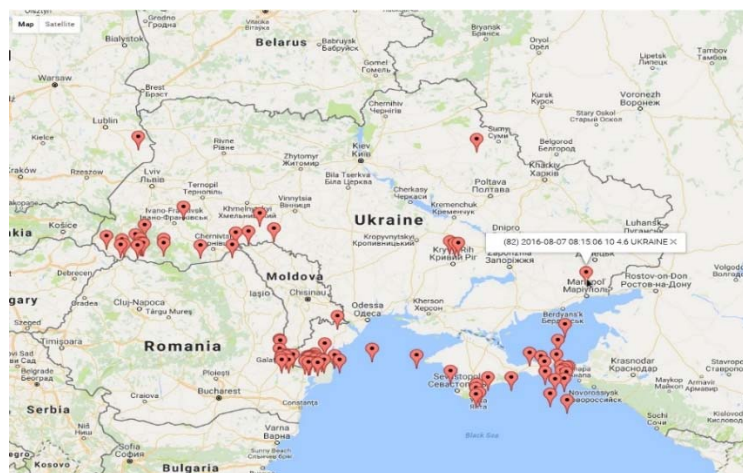


Fig. 7. The map of Ukrainian, Romanian, Crimean earthquakes that were realized from November 2004 to April 2017 with magnitudes from 0 to 6. Sumy's earthquake is on top point of the map

After common analyzes for spatial distribution, all Ukrainian earthquakes must be tested out with other variants of investigations related with dedicated energy. As we don't know the real nature of these random seismic events, several attempts to study the energy of these events with different parameters must be carried out. These preliminary parameters may be taken from all group parameters of the basic seismic event's parameter – logarithm of energy that is reflected as magnitude. We will not concentrate our attention on this research of different types of these parameters (M_v , M_l , M_r , etc.) and they all will be concatenated into one common parameter of the energy of seismic events as some common M as a common magnitude. Next important step for this research is to use a different type of difference between studying magnitudes M because the seismicity of Ukrainian shield is not very active.

For this in our first simple researching were used two values of the steps for calculated magnitudes – 0,1 and 0,5. First variant with value of delta magnitude 0,1 is imperfect

for suitability for significant values of the earthquake's energy but it must be used for passive Ukrainian tectonic area. Second variant of the value that is equal to 0,5 is physically based on this number because the exactness of this parameter is included in its numerical interval.

After using a special system with database MySQL for collection and mathematical and statistical testing of any seismic events we received necessary results that are presented on Fig. 8 and Fig. 9. Second variant of the value that is equal to 0,5 is physically based on this number because the exactness of this parameter is included in its numerical interval.

Fig. 8 shows common energy for last Ukrainian earthquakes from November 2004 to April 2017 and is divided into three independent energy groups. First group is between 2,0 and 3,0 values of the magnitude, second group has interval from 2,5 to 3,5 and last group is included in interval from 3,0 to 4,0. To search the answers to these questions about availability of three groups for Ukrainian

earthquakes energy we need to do an additional researching for explaining these questions. For simpler explaining of this question the comparative analysis

analogical data with other step for dividing by magnitudes may be produced. Fig. 9 shows the result of this preliminary investigation.

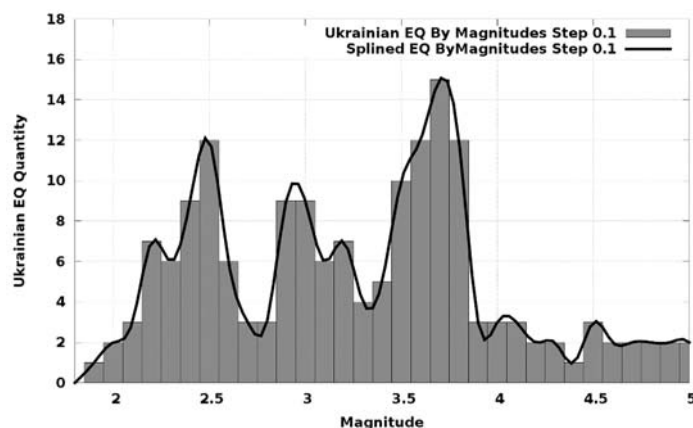


Fig. 8. The histogram for values of the magnitudes M for all Ukrainian earthquakes divided on several groups with step 0,1

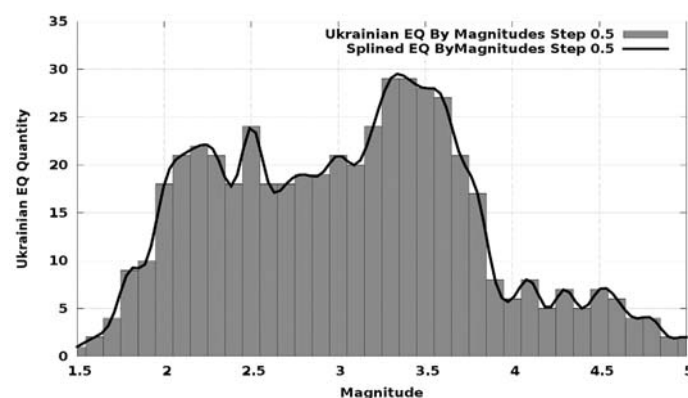


Fig. 9. The histogram for values of the magnitudes M for all Ukrainian earthquakes divided on several groups with step 0,5

After selecting Ukrainian earthquakes from special MySQL database for last fifteen years and preliminary analyzing of all selected data with different parameters it was found out that the basic group of Ukrainian and around territories earthquakes are placed in basic energy area of magnitudes with minimal and maximal values 2,0 and 4,0 respectively. Two groups were selected, with maximal and minimal values of the magnitude being in confidential interval and allowing us to use them effectively.

Sumy's Earthquake and the Seismicity in Ukraine.

The area of the location of the earthquake focus near the town of Sumy in tectonic terms is on the southwestern slope of the Voronezh crystalline massif near the northeastern side of the DDB. The epicenter is confined to the northern extension of the Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone. The earthquake focus is confined to the tectonic node formed by the eastern edge fault of the Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone and the northern side fracture of the DDB.

The main deep faults near the source of the earthquake are the northern side fault of the DDB rift and the northern extension of the Krivyy Rig-Kremenchug fault.

The hypocenter of the event in the area with sharp change in the structural plan of the Moho surface occurs accompanied by a negative mantle gravitational anomaly. In the relief of the Moho surface, a superimposition of the structural plan of the northwestern direction, connected with the Devonian rift of the DDV, on the ancient structural plan of the Ukrainian shield and Voronezh crystalline massive is clearly visible. Within the DDV, the isohypses of the Moho surface clearly delineate the ascent to ~ 35 km in the central part of the rift. The Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone is expressed in the Moho surface by a narrow elongated depression with depths of more than

50 km in the central part. Here, in the lower part of the cortex, the development of the crust-mantle mixture is observed. The Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone is also distinguished by the development of high-intensity deep magnetic inhomogeneities along it.

In addition, here in the lower part of the crust and in the upper mantle a linear object of high electrical conductivity is isolated. The authors (*Gordienko et al., 2004*) associate it with high fluid saturation due to thermal dehydration of rocks. A high-intensity horizontal temperature gradient is observed here, as well as a change in the magnetic and electrical properties of the rocks of the lower crust and upper mantle, which creates favorable conditions for the discharge of accumulated energy in the form of an earthquake.

Thus, the earth's crust of the region has a pronounced physic-geological heterogeneity, which creates instability of lithostatic stress, and this, in turn, is a prerequisite for the appearance of additional stresses.

The results of this researching are dedicated to the cause of the earthquake that happened in Ukraine very near to the city Sumy on 03.02.2015 5:56 GMT. The aim of this article is to focus on the fact that the Ukrainian earthquake near to Sumy is a natural seismic event associated with stress regime in deep faults and mantle lineaments that extend from Vrancea zone to Voronezh crystalline massive. In the studying of powerful Ukrainian and Romanian earthquakes with magnitudes between 3.9 - 4.6 that occurred before the earthquake in Sumy was revealed, they are all interconnected by a common fault system (*Gordienko et al., 2004*) (Fig. 1).

A preliminary analysis of Seismic Records .The seismic event in Sumy with magnitude 4,6 that happened on 03 February 2015 by GMT time 05:56:31 in epicenter with

coordinates 50.64N 34.13E may be viewed through short preliminary analyzing of seismic records that were fixed on many seismic stations. By form of the records of this extraordinary event, it is possible to discuss and understand the sense – why it happened. Many zones of northern part of Ukraine having the areas where many technical

explosions happened are intended for extraction of natural products from quarries (*The map of technical explosions on North of Ukraine, 2011*). Below are presented several basic forms of seismic records that were received from the following seismic stations: UZH – Uzgorod, MEZ – Mezgyria, LVV – Lviv, UK15 – Krivvy Rig.

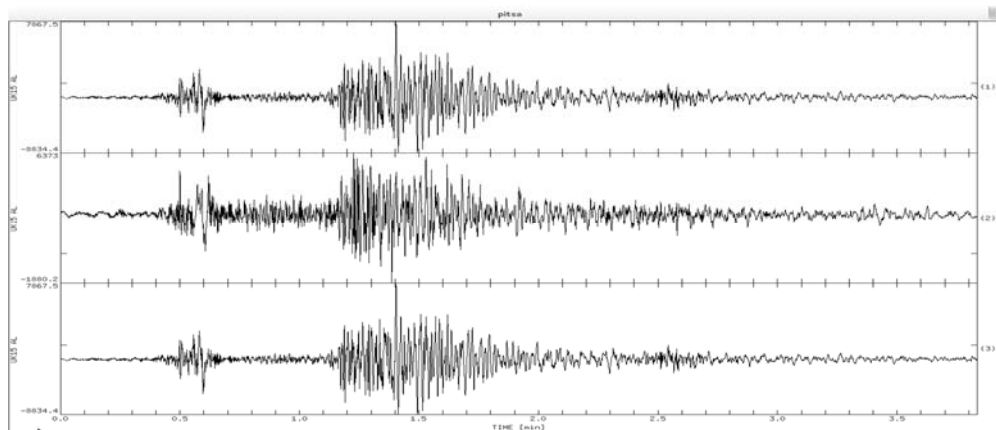


Fig. 10. The filtered three-components seismic record station UK15 (Krivvy Rig) of the earthquake in Sumy that happened by GMT time at 03 February 2015 05:56:31

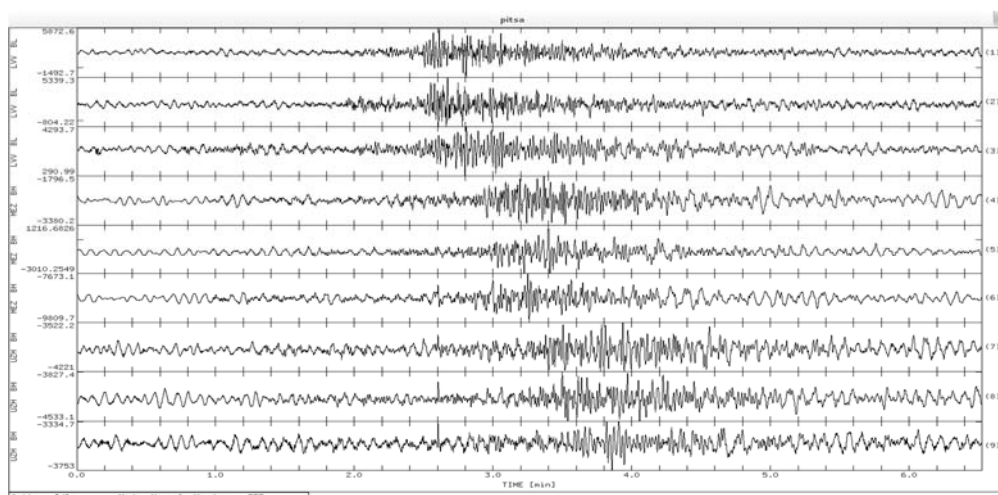


Fig. 11. The filtered three-components seismic records received from stations Carpathian and Transcarpathia regions: LVV (Lviv), MZH (Mezgyria), UZH (Uzhorod) of the earthquake in Sumy that happened by GMT time at 03 February 2015 05:56:31

The magnitude of this seismic event that is equal to 4,6, is too big for technical TNT explosion. Preliminary viewing analysis of records (Fig. 10, 11) has shown that the distance between epicenter of seismic event in Sumy and stations of Carpathian and Trans-Carpathian regions is very big for ordinary explosions. For final evidence of the nature of this seismic event in Sumy there must be produced the calculation and analyzing of a mechanism of geotectonic structure of the source of tectonic block that generated this event how it was made for earthquake in Krivvy Rig (□rytsay et al., 2013).

More evidence that it is real seismic event (not strong explosion) is presented on Fig. 10, 11. The clear first part of these records consists of two subgroups of records that may be interpreted as Pg and Sg variants of two first arrived waves that are widely known and are often used for the processing of local seismic events. Last third arrived wave may be interpreted as a Lg wave that has a classic form of its part what may especially be seen on records of stations LVV (Lviv), MZH (Mezgyria), UZH (Uzhorod) (Fig. 11).

Next attempt for understanding the nature of strong Ukrainian earthquake is the estimation of the length by time between primary Pg wave and secondary Sg wave. After

calculation of this temporal value it was found out that it equals about one minute (60 seconds).

Temporal value of dT that was calculated as a difference between Pg and Sg waves points that this seismic event is not a technical strong explosion (Walter et al., 2011). The final statistical calculation of the coordinates of this seismic event in different international organization has given the following geographical values of longitude and latitude by EMSC – 34,13E, 50,64N, by GSPC – 34,20E, 50,48N. Table1 presents all last calculated geographical data that had been gotten in NCSD IGPH NAS Ukraine (Kyiv). For this calculation there were used the results of detection parameters of seismic event by three components records that had been received from two stations – MLR (Romania) and UK15 (Ukraine).

After calculating the mean values (MV in Table 1) of geographical coordinates that are presented in Table 1, numerically estimations of statistical errors of these mean values were calculated. The calculated mean values and estimation of their statistical errors are as follows:

1) by records of the Romanian seismic station MLR – latitude $50.544 \pm 2.5E-04$, longitude $33.915 \pm 0.0E-04$;

2) by records of the Ukrainian seismic station UK15 – latitude $50.529 \pm 5.0E-04$, longitude $34.093 \pm 2.5E-04$;

2) by records of the Ukrainian seismic station UK15 – latitude $50.529 \pm 5.0E-04$, longitude $34.093 \pm 2.5E-04$;

Calculated the middle values of the geographical coordinates the seismic event and their statistical estimations had shown that we may trust to these values.

Table 1

The coordinates of the seismic event near Sumy calculated as middle values for statistical estimation

N	STATION MLR (Romania)		STATION UK15 (Ukraine)	
	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
1	33.856	50.605	34.109	50.527
2	33.739	50.630	34.050	50.530
3	34.013	50.486	34.117	50.539
4	34.052	50.456	34.097	50.518
MV	33.915	50.544	34.093	50.529

Final conclusion – What we should wait and do. We showed connection between mantle lineaments (Sollogub, 1986) and deep faults on territory of Ukraine and earthquakes that occurred in those places (Fig. 1, 2). These earthquakes are concentrated within these lithosphere heterogeneities. The earthquake in Sumy region illustrates Sollogub's assumptions. Given the geological and tectonic structure within the Dnieper-Donets basin, an earthquake in the area could occur with very low probability. Since we know that the earthquake in Sumy focuses on node of several crust faults and mantle lineament, and the earthquake in Krivyy Rig is also located on the fault and mantle lineament, it could mean the area of unstable condition and area of concentration of stress field to spread not only in crust and upper mantle too. Both lithosphere heterogeneities have the same direction, which connect seismic active zones - Ukrainian (Sumy, Krivyy Rig) and Romanian (Vrancea zone). They have a common breaking line, common heterogeneities which produce instability in lithosphere and can potentially harm. Sumy earthquake occurred at the zone of Dnieper-Donetsk paleorift and Voronezh crystalline massive junctions, which are directly near one of the possible seismogenic zone and it was referred earlier in the article of A.A. Tripolskiy (Tripolskiy et al., 2012).

Earthquakes in Krivoy Rog and Sumy region are characterized by seismic activity with the same magnitude and showed the displacement of the Krivyy-Rig-Kremenchug fault at left, as it was evidenced by the data processing of earthquakes waveforms records. Hypocenters of the earthquakes are likely to be placed along crossing zone (nodes) with mantle faults on V.B. Sollogub's map (Sollogub, 1986). These areas correspond to stress-deformation processes which act in the crust of the Ukraine and Romania. The analyzing of the available geophysical information and images in Fig. 1, 2 and 7 allows admitting the fact that the occurrence of these earthquakes suggests possible global seismological problem for Ukraine and Romania which is in active form now. Thus, the area of intersection of faults mantle zone of the Krivyy-Rig-Kremenchug suture zone may be characterized in the future as increased level of seismicity. In addition, the earthquake that is located in the common area of the north-eastern side of the southern slope of the Voronezh crystalline massif (Kendzera et al., 2016), allows expecting the growing of seismic activity that may be much higher in comparison to the south-western side. With considering of the registration of the earthquake that took place on 03-02-2015 the assumption of the possible increasing of seismic activity in the general area of Romania has proved justified, which undoubtedly increases the future credibility to this hypothesis.

Thus, a brief analysis of geological and geophysical characteristics of the area adjacent to the site of the Sumy earthquake shows that the probability of registration of local earthquakes in the future may be evaluated as high in

comparison with neighboring Romanian territories. Romanian earthquake with maximum energy power ($M = 7.0-7.5$) can lead to the powerful vibrations which will spread over long distances, which will cover the whole Ukraine and tectonic faults extending to Romania (Fig. 1, 2). Thus, the accumulated tectonic energy relaxation will take place, but the effects of shaking with length of about few minutes can cause a considerable damage to the national economy and the people from Romania and Ukraine that have got into the zone of this natural phenomenon.

Список використаних джерел

- Fjeldskaar, W., Lindholm, C., Dehls, J.F., Fjeldskaar, I. (2000). Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews*, 1413-1422.
- Walter, W.R., Matzel, E., Pasyanos, M.E., Harris, D.B., Gok, R., Ford, S.R. (2011). Empirical observation of earthquakes-explosion discrimination using P/S ratios and implications for the source of explosion S-waves. 29-th Monitoring Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, 684-693.
- Гордиенко, В.В., Гордиенко, И.В., Загородняя, О.В., Логвинов, И.М., Тарасов, В.Н., Усенко, О.В. (2004). Геотермический атлас Украины. Национальная Академия наук Украины, Институт геофизики им.С.И.Субботина, Киев.
- Грицай, О.Д., Гурова, И.Ю., Калиниченко, О.А., Малицкий, Д.В., Мила, О.О., Пигулевский, П.И., Ник, С.В. (2014). Исследование природы землетрясений в Кривом-Рог, 23 июня 2013 г. Материалы научного семинара-конференции "Сейсмологические и геофизические исследования в сейсмически активных регионах". Львов, 164-170.
- Дані температури. (н.р.). Отримано 3 липня 2018, із https://en.wikipedia.org/wiki/Instrumental_temperature_record
- Європейський Середземноморський сейсмологічний центр. (н.р.). Отримано 29 червня 2018, із <http://www.emsc-csem.org/Earthquake>
- Карта техногенних вибухів на півночі України. (2011). Отримано 2 липня 2018, із <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/ExplOn2011/>
- Кендзера, А.В., Трипольский, А.А., Пигулевский, П.Г., Щербина, С.В., Гурова, И.Ю. (2016). Современная сейсмическая активизация Днепровско-Донецкого палеорифта. Доклады НАНУ, 1, 65-70.
- Леонов, Ю.Г. (1995). Напряжения в литосфере и внутренняя тектоника. Геотектоника, 6, 3-21.
- Национальный центр про доквілля. (н.р.). Отримано 30 червня 2018, із <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201401>
- Новини BBC Україна. (н.р.). Отримано 21 червня 2018, із <http://www.bbc.com/ukrainian/news-39341500>
- Події в космосі та землетруси. (н.р.). Отримано 2 липня 2018, із <http://alexars.ru/blizhayshie-kosmicheskie-sobyitiya-i-prohozhdenie-kрупnyih-zemletryaseniy-do-12-07-2017-goda/>
- Соллогуб, В.Б. (1986). Литосфера Украины. Киев: Наук. думка.
- Трипольский, А.А., Калюжная, Л.Т., Трипольская, Л.А. (2012). Предсказание возможных сейсмогенных зон в Днепровско-Донецком палеорифте. Геофиз. журнал, 34(1), 95-104.
- Шумлянская, Л.А., Александров, А.Л. (2016). Землетрясение 3 февраля 2015 г. возле г. Сумы: параметры источника и механизм очага. Сейсмич. приборы, 52(4), 350-359. doi:10.3103/S0747923916040071.
- Щербина, С.В. (2013). Динамика солнечных пятен и землетрясения. Второй Всероссийский семинар-конференция "Триггерные эффекты в геосистеме". Москва, 18-21 июля 2013, 112-114.
- Щербина, С.В. (2013). Корреляционный анализ взаимосвязей между динамикой солнечной плазмы и процессом генерации землетрясений. V Международная конференция геофизических технологий предсказаний и мониторинга геологической среды. Львов, 1-4 октября 2013, 370-372.

Reference

- European Mediterranean Seismological Center. (n.d.). Retrieved June 29, 2018, from <http://www.emsc-csem.org/Earthquake>
- Fjeldskaar, W., Lindholm, C., Dehls, J.F., Fjeldskaar, I. (2000). Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1413-1422.

Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., Usenko, O.V. (2004). Geothermal atlas of Ukraine. National Academy of Ukraine. Institute of geophysics S.I. Subbotina, Kyiv. [In Russian].
 Hrytsay, O.D., Gurova, I.Y., Kalinichenko, O.A., Malitsky, D.V., Muila, O.O., Pigulevsky, P.I., Nick, S.V. (2014). Investigation of the nature of the Krivyy-Rig earthquake on June 23, 2013. Materials of the scientific conference-seminar "Seismological and geophysical studies in seismically active regions", Lviv, 164-170. [In Russian].
 Kendzera, A.V., Tripolskiy, A.A., Pigulevskyy, P.I., Shcherbina, S.V., Gurova I.Y. (2016). Modern seismic activation of the Dnieper-Donets paleorift. Report of NASU, 1, 65-70. [In Russian].
 Leonov, Y.G. (1995) Stresses in the lithosphere and internal tectonics. Geotektonika, 6, 3-21. [In Russian].
 National Centers for Environmental Information. (n.d.). Retrieved June 30, 2018, from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201401>
 News bbc Ukraine. (n.d.). Retrieved June 21, 2018, from <http://www.bbc.com/ukrainian/news-39341500>
 Shcherbina, S. (2013). Correlation analysis of the relationship between the dynamics of solar plasma and the process of earthquake generation. V International Scientific Conference Geophysical Technologies of Forecasting and Monitoring of the Geological Environment, Lviv, 1-4 October 2013, 370-372. [In Russian].

Shcherbina, S. (2013). Dynamics of sunspots and earthquakes. Second All-Russian Seminar-Meeting "Trigger effects in geosystems", Moscow, July 18-21, 2013, 112-114. [In Russian].
 Shumlianska, L.O., Aleksandrov, A.L. (2016). The earthquake of February 3, 2015, near Sumy, Ukraine: Source parameters and focal mechanism. Seism. instr., 52(4), 350-359: 350. doi:10.3103/S0747923916040071.
 Sollogub, V.B. (1986). Lithosphere of Ukraine. Kyiv: Nauk. dumka. [In Russian].
 Space event and earthquake. (n.d.). Retrieved July 2, 2018, from <http://alexars.ru/blizhayshe-kosmicheskie-sobyitiya-i-prohozhdenie-krupnykh-zemletryaseniy-do-12-07-2017-goda/>
 Temperature record. (n.d.). Retrieved July 3, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Instrumental_temperature_record
 The map of technical explosions on North of Ukraine. (2011). Retrieved July 2, 2018, from <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/ExplOn2011/>
 Tripolskiy, A.A., Kalyuzhnaya, L.T., Tripolskaya, V.A. (2012). Forecasting of possible seismogenic zones in the Dnieper-Donetsk paleorift. Geophys. Journal, 34(1), 95-104. [In Russian].
 Walter, W.R., Matzel, E., Pasyanos, M.E., Harris, D.B., Gok, R., Ford, S.R. (2011). Empirical observation of earthquakes-explosion discrimination using P/S ratios and implications for the source of explosion S-waves. 29-th Monitoring Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, 684-693.

Надійшла до редколегії 12.04.18

О. Чалий¹, геофізик
 М. Дяконеску², наук. співроб.
 І. Гурова¹, старш. наук. співроб.
 Ю. Лісовий¹, наук. співроб.
 П. Пігулевський¹, д-р геол. наук, старш. наук. співроб.
 С. Щербина¹, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.
 А. Шевцов³, наук. співроб.
 Л. Шумлянська¹, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
 пр. Палладіна, 32, Київ, 03860, Україна
²Національний Інститут Фізики Землі, Магуреле, Румунія
³Університет Драгоманова, Київ, Україна

ПРИЧИНА АКТИВНОЇ СЕЙСМІЧНОСТІ В УКРАЇНІ

Особлива увага у статті приділяється землетрусу, що стався біля міста Суми 3 лютого 2015 р. На думку авторів, цей землетрус відбувся під впливом декількох напружених режимів, пов'язаних на регіональному рівні з перенесенням напруг із зони Вранча вздовж мантіїного лінеамента Соллогуба та через зміну локального поля напруги, яке створюється різними за товщиною земної кори блоками за наявності підкорових теплових аномалій і аномалій щільності. Розташування вогнища землетрусу тектонічно приурочено до південно-західного схилу Воронезького кристалічного масиву біля північно-східного схилу Дніпровсько-Донецького басейну (ДДБ). Гіпоцентр землетрусу розташований в районі з різкою зміною структурного плану поверхні Мохо, що супроводжується негативною мантіїною гравітаційною аномалією. У рельєфі поверхні Мохо наочно видно накладання структурного плану північно-західного напрямку, пов'язані з девонським рифтом ДДБ на давньому структурному плані Українського щита та Воронезького кристалічного масиву. Ізолінії поверхні Мохо чітко виділяють сходження до ~35 км у центральній частині рифта. Криворізько-Кременчуцька шовна зона виражається на поверхні Мохо вузькою витягнутою депресією з глибиною більше 50 км у центральній частині. У нижній частині кори, спостерігається розвиток коро-мантіїної суміші, тож земна кора області має яскраво виражену фізико-геологічну неоднорідність, яка створює нестабільність літостатичного тиску, і це, у свою чергу, є передумовою появи додаткових напружень.

Ключові слова: глибинні розломи, мантіїні лінеаменти, напруга, землетрус, інтенсивність, Вранча.

О. Чалий¹, геофизик
 М. Дяконеску², науч. сотр.
 І. Гурова¹, старш. науч. сотр.
 Ю. Лесовой¹, науч. сотр.
 П. Пигулевский¹, д-р геол. наук, старш. науч. сотр.
 С. Щербина¹, канд. геол. наук, старш. науч. сотр.
 А. Шевцов³, науч. сотр.
 Л. Шумлянская¹, канд. геол. наук, мл. науч. сотр.
¹Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
 пр. Палладина, 32, Киев, 03860, Украина
²Национальный Институт Физики Земли, Магуреле, Румыния
³Университет Драгоманова, Киев, Украина

ПРИЧИНА АКТИВНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В УКРАИНЕ

Особое внимание в статье уделяется землетрясению, произошедшему возле г. Сумы 3 февраля 2015 г. По мнению авторов, это землетрясение произошло под влиянием нескольких напряженных режимов. На региональном уровне они связаны с переносом напряжений из зоны Вранча вдоль мантійного лінеамента Соллогуба, а также с изменениями локального поля напряжения, создаваемого различными по толщине земной кори блоками, при наличии подкоровых тепловых аномалий и аномалий плотности. Расположение очага землетрясения тектонически приурочено к юго-западному склону Воронезского кристаллического массива у северо-восточного склона Днепро-Донецкого бассейна (ДДБ). Очаг землетрясения находится в районе с резким изменением структурного плана поверхности Мохо, что сопровождается отрицательной мантіїною гравитационной аномалией. В рельефе поверхности Мохо наглядно видно наложение структурного плана северо-западного направления, связанные с девонским рифтом ДДБ на древнем структурном плане Украинского щита и Воронезского кристаллического массива. Изолинии поверхности Мохо четко выделяют восхождение к ~35 км в центральной части рифта. Криворізько-Кременчуцька шовная зона выражается на поверхности Мохо узкой вытянутой депрессией с глубиной более 50 км в центральной части. В нижней части кори наблюдается развитие коро-мантіїної смеси, поэтому земная кора области имеет ярко выраженную физико-геологическую неоднородность, которая создает нестабильность литостатического давления, и это, в свою очередь, является причиной возникновения дополнительных напряжений.

Ключевые слова: глубинные разломы, мантіїные лінеаменты, напряжение, землетрясение, интенсивность, Вранча.

УДК 550.834.32/5:551.14

Ю. Розиган, студ.,
E-mail: rose14@bigmir.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
О. Трипільський, д-р геол.-мінералог. наук
О. Тополіук, канд. геол. наук,
E-mail: oksana.topoliuk@gmail.com
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
пр. Палладіна, 32, Київ, 03860, Україна

ШВИДКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМНОЇ КОРИ КОРОСТЕНСЬКОГО ПЛУТОНУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ) ЗА ДАНИМИ МЕТОДУ ГЛИБИННОГО СЕЙСМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ

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

Здійснено детальний порівняльний аналіз швидкісних характеристик земної кори Коростенського плутону, Волинського і Чоповицького масивів основних порід Волинського мегаблока Українського щита.

В інтервалі глибин 3–13 км у земній корі Коростенського плутону фіксується п'ять ділянок, де швидкість на короткому інтервалі спочатку з глибиною зменшується, після чого, навпаки, зростає. Це пояснюється наявністю в розрізі серії шарів, складених породами зі знизженими чи підвищеними швидкостями, що по чергово змінюють один одного зі зростанням глибини. Такі зміни швидкостей розглядаються як результати перешарування порід основного і кислого складу.

З глибиною суттєво зменшується ступінь підвищення швидкості (вертикальний швидкісний градієнт), що характеризує особливості вкорінення у земну кору інтрузії з підвищеною основністю. Ці особливості полягають у тому, що розплавлені маси, які надходили з верхньої мантії, концентрувались переважно у верхній та середній частинах земної кори.

Виявлено відмінності між особливостями швидкісних характеристик земної кори Волинського і Чоповицького масивів основних порід. Швидкісні характеристики порівнюваних структур відбивають особливості вкорінення магматичних розплавів основного складу у земну кору. Незважаючи на територіальну близькість масивів, характер укорінення розплавів між ними значно відрізняється. Наприклад, різкі перепади швидкостей в інтервалі глибин 0–12 км Волинського масиву можна пов'язувати з наявністю не менше ніж 10 шарів порід переважно кислого і основного складу, що по чергово змінюють один одного. Слід підкреслити, що на глибинах 8–12 км спостерігаються максимальні перепади швидкостей (до 0,17–0,18 км/с) між окремими шарами. У тому ж інтервалі глибин у Чоповицькому масиві виокремлюється лише 5 шарів при максимальному перепаді швидкостей 0,18 км/с.

Практична значимість роботи полягає в тому, що особливості просторового розподілу сейсмічних швидкостей в земній корі Коростенського плутону в подальшому можуть бути використані при створенні комплексної геолого-геофізичної моделі земної кори Українського щита та для геологічної інтерпретації даних регіональних сейсмічних досліджень, виконаних на території Корсунь-Новомиргородського плутону Українського щита, який має багато спільних рис з Коростенським плутоном.

Ключові слова: Український щит, швидкість поширення сейсмічних хвиль, вертикальний швидкісний градієнт, графік $V = f(H)$.

Вступ. Коростенський плутон (КП) – найбільший за площею з плутонів Українського щита (УЩ) був сформований в північно-західній частині щита (Волинський мегаблок) у середньому протерозої в період платформного розвитку. Він має ізометричну форму, загальна площа плутону – понад 12000 км².

У центральній частині плутону розташовані Волинський і Чоповицький масиви (ЧМ), складені основними породами типу анортозитів, габро-анортозитів, габро-норитів, габро-лабрадоритів, габро та монзонітів, більш молоді коростенські граніти типу рапаківі оточують їх. Породи, які становлять багатозонний коростенський інтрузив, вкорінювались за складною системою розривних порушень. Інтрузії основного складу розділені між собою регіональними розломами північно-західного, північно-східного та субширотного простягання.

Глибинна будова Коростенського плутону вивчалася сейсмічними дослідженнями методом ГСЗ і кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ). Коростенський плутон перетнуто профілями КМЗХ (XIII та XIV) та профілем ГСЗ Шепетівка–Чернівці (геотраверса II) (рис. 1).

Дослідження методом ГСЗ виконувалися за системою зустрічних і наганяючих годографів, пов'язаних у взаємних точках. Високий ступінь детальності дослідження дозволив отримати сейсмічні матеріали, що забезпечували майже однозначні результати при використанні різних методів інтерпретації.

У результаті цих досліджень було показано, що земна кора Коростенського плутону в інтервалі глибин 0–15 км є верстуватою і складена серією пластин порід основного складу з підвищеними швидкостями, між якими залягають кислі породи гранітного складу з пониженими швидкостями. Порівняно з іншими мегаблоками Українського щита швидкості в цьому інтервалі глибин є вищими. Нижче 15 км швидкісна характеристика розрізу

Коростенського плутону така ж, як у середньому для всього Українського щита (Соллогуб і др., 1968; Калужная, 1976; Чекунов і др., 1986; Соллогуб і др., 1987; Калужная і Трипольский, 2000; Трипольский і др., 2000; Ильченко і Бухарев, 2001; Trypilsky and Kaluzhnaya, 2001; Трипольский і Шаров, 2004).

Певним недоліком зазначених робіт є те, що в них кількісно не визначені відношення швидкостей в земній корі Коростенського плутону до швидкостей Волинського мегаблока (ВМ) і Українського щита на різних глибинних рівнях. Крім того, у цих роботах відсутні порівняння швидкісних характеристик земної кори Волинського та Чоповицького масивів основних порід.

З урахуванням зазначених недоліків у даній роботі здійснено детальний порівняльний аналіз швидкісних характеристик земної кори Коростенського плутону, Волинського і Чоповицького масивів основних порід, Волинського мегаблока та Українського щита.

Фактичним матеріалом для подальших досліджень був швидкісний розріз уздовж геотраверсу II, представлений у вигляді ізоліній швидкостей в діапазоні глибин від 1 до 40 км. Із цього розрізу з інтервалом по горизонталі, рівним 10–20 км, знято значення швидкостей із кроком по вертикалі в 1 км. Це надало можливість отримати 7 вертикальних графіків V_1 у межах прилягаючої до плутону частини Волинського мегаблока та 6 таких же графіків V_2 на території Коростенського плутону. Після цього за цими графіками отримано усереднені значення $\bar{V}_1 = f(H)$ та $\bar{V}_2 = f(H)$, які характеризують земну кору Волинського мегаблока та Коростенського плутону відповідно (рис. 2).

Розглянемо особливості цих графіків. Із графіка ВМ випливає, що швидкості в земній корі Волинського мегаблока поступово зростають з глибиною від 5,85 км/с на

денній поверхні до 7,07 км/с на глибині 40 км. Вертикальний градієнт швидкості G в інтервалі 0–40 км становить $0,0305 \text{ с}^{-1}$. На глибинах 7–10 км фіксується шар зі зниженою швидкістю з дуже незначним зменшенням

швидкості в ньому ($-0,05 \text{ км/с}$). В інтервалі глибин 18–35 км графік являє собою майже пряму лінію з вертикальним градієнтом, рівним $0,02060 \text{ с}^{-1}$.

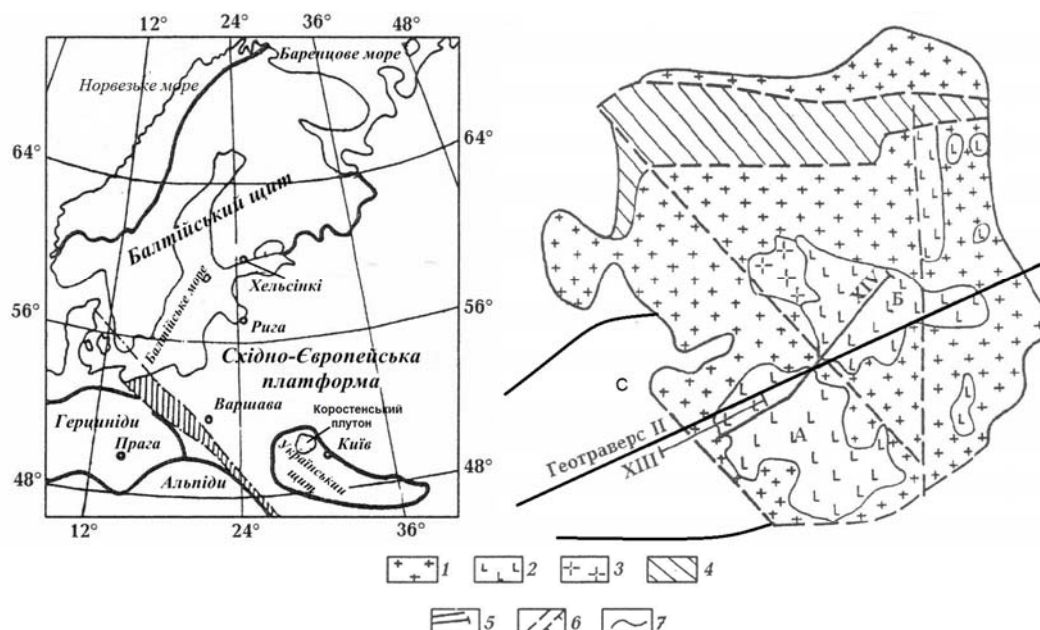


Рис. 1. Карта розташування Коростенського плутону гранітів рапаківі та габро-анортозитів:
1 – граніти рапаківі; 2 – основні породи; 3 – токовські граніти; 4 – Овруцький синкліній; 5 – сейсмічні профілі;
6 – розривні порушення; 7 – контури плутону; А – Волинський масив основних порід;
Б – Чоповицький масив основних порід; С – Волинський мегаблок

Зовсім інший характер має графік КП, що характеризує зміну швидкостей з глибиною в земній корі Коростенського плутону (рис. 2). На відміну від графіку ВМ в інтервалі глибин 3–13 км фіксується п'ять ділянок, де швидкість на короткому інтервалі з глибиною спочатку зменшується, після чого, навпаки, зростає. Це можна пояснити наявністю в розрізі серії шарів, складених породами з відносно зниженими та підвищеними швидкостями, що по чергово змінюють з глибиною один одного. Загалом швидкості на графіку КП вищі порівняно з графіком ВМ, причому з глибиною ця різниця поступово зменшується до нульових значень (глибини 21–25 км) та знову поступово зростає до глибини 34 км. Далі контрастне зростання різниці між графіками ВМ і КП зумовлено тим, що в низах земної кори Коростенського плутону виокремлюється перехідна зона кора–мантія для якої характерні підвищені швидкості сейсмічних хвиль. Вертикальний градієнт швидкості G графіка КП в інтервалі 0–34 км дорівнює $0,0260 \text{ с}^{-1}$.

Порівняно з графіком УЩ (усереднена швидкісна характеристика земної кори Українського щита) графіки ВМ і КП на глибинах 0–20 км відхиляються в протилежні боки – зменшення (графік ВМ) і збільшення (графік КП) швидкостей. Далі – глибини 21–29 км – ці три графіки майже збігаються між собою.

Геотраверс ІІ перетинає Волинський і Чоповицький масиви основних порід (рис. 1). Це надає можливість порівняти характеристики земної кори цих структур. На рис. 3 наведено усереднені графіки $\bar{V} = f(H)$ відповідних структур (ВМ, ЧМ) та графік $\bar{V} = f(H)$ Українського щита.

Впадає у вічі велика відмінність між графіками ВМ і ЧМ як у величинах швидкостей, так і в характері цих графіків. Так, в інтервалі глибин 2–10 км графік ВМ дуже нагадує графік КП з рис. 2, що характеризує швидкості в земній корі Коростенського плутону. Тут також фіксується п'ять ділянок, де швидкість на короткому інтервалі спочатку з

глибиною зменшується, потім навпаки зростає. Це напевне пояснюється також наявністю в розрізі серії шарів, складених породами з відносно зниженими та підвищеними швидкостями. Доречним буде порівняти ці значення з розподілом швидкостей в Корсунь-Новомиргородському плутоні (КНП), розташованому в межах Кіровоградського рудного району Українського щита та складеному переважно основними породами. На відміну від ВМ і ЧМ на графіку швидкостей КНП виділяється лише одна ділянка (0–6 км), де швидкості спочатку зростають, а потім спадають (Трипільський та ін., 2013). Нижче 6 км швидкості в межах КНП планомірно зростають, що вказує на більш однорідну будову КНП порівняно з ВМ і ЧМ.

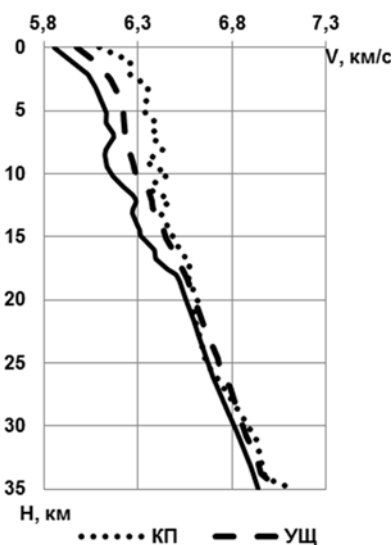


Рис. 2. Усереднені швидкісні характеристики $V = f(H)$ земної кори Волинського мегаблока, Коростенського плутону та Українського щита

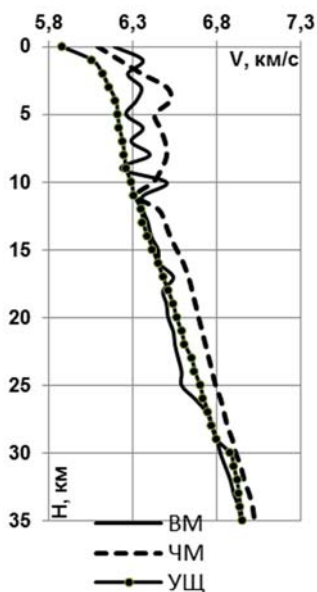


Рис. 3. Осереднені швидкісні характеристики $V=f(H)$ земної кори Волинського масиву основних порід, Чоповицького масиву та Українського щита

В інтервалі глибин (0–12 км) на графіку ЧМ спостерігаються лише дві такі ділянки з інверсіями швидкостей. Порівняно з графіком ВМ швидкості на графіку ЧМ вищі на 0,10–0,20 км/с. вертикальний градієнт швидкості G на графіку ЧМ у два рази вищий, ніж на графіку ВМ ($0,0300 \text{ с}^{-1}$ проти $0,0147 \text{ с}^{-1}$) (рис. 3).

Глибше (12–34 км) на обох графіках уже не спостерігається інверсія швидкостей, але вертикальні градієнти швидкості G відрізняються часом дуже значно. Наприклад, на глибинах 12–25 км на графіку ВМ градієнт G дорівнює $0,0177 \text{ с}^{-1}$, на графіку ЧМ – $0,0262 \text{ с}^{-1}$; на глибинах 25–31 км – графік ВМ – $0,0640 \text{ с}^{-1}$, графік ЧМ – $0,0250 \text{ с}^{-1}$. Для порівняння, максимальний градієнт G у межах Корсунь-Новомиргородського плутону в інтервалі 0–6 км становить $0,0990 \text{ с}^{-1}$ (Трипільський та ін., 2013).

Таким чином, графік ВМ відрізняється від графіка ЧМ величинами швидкостей, характером графіка (численні інверсії швидкостей) та контрастними змінами вертикального градієнта G від $0,0147 \text{ с}^{-1}$ до $0,0640 \text{ с}^{-1}$ на відміну від графіка ЧМ – від $0,0250 \text{ с}^{-1}$ до $0,0300 \text{ с}^{-1}$.

Обговорення результатів. Найбільший інтерес викликають особливості просторового розподілу швидкостей у земній корі Коростенського плутону. Як припускає більшість дослідників, цей розподіл відбиває, особливо у верхній частині земної кори до глибини близько 15 км, характер залягання порід основного і кислого складу. Різкі зміни швидкостей в бік їхнього зростання чи зменшення, що повторюються кілька разів, розглядаються як результат переверстування цих порід.

Виходячи з таких припущень, розглянемо графіки $V = f(H)$, представлені на рис. 2 і 3.

Характер розподілу швидкостей в земній корі Коростенського плутону з глибиною значно змінюється (рис. 2, графік КП). Найбільш контрастні перепади швидкостей між підвищеними та пониженими значеннями (до 0,10–0,11 км/с) спостерігаються на глибинах 8–13 км, де фіксується п'ять шарів потужністю близько 1 км кожен. Вище (1–7 км) та нижче (14–20 км) абсолютні величини таких перепадів зменшуються в кілька разів. Це може свідчити, що найбільш інтенсивне вкорінення міжпластових інтрузій порід основного складу відбувалося на глибинах 8–13 км, нижче і вище інтенсивність вкорінення помітно спадала.

Нижче 20 км – до глибини 34 км швидкість монотонно зростає з глибиною. Можна припустити, що глибини 8–13 км є найбільш сприятливими для вкорінення міжпластових інтрузій в земну кору Коростенського плутону. Для порівняння згадаємо, що приблизно в цьому інтервалі глибин у земній корі докембрійських щитів північної півкулі Землі (6–12,3 км) виокремлюється хвилевід (Трипільський і Шаров, 2004). Можливо, наявність послабленої зони, характерної для хвилеводу, створює сприятливі умови для вкорінення інтрузій.

Загалом інтервал глибин 0–13 км у земній корі Коростенського плутону характеризується підвищеною швидкістю (6,34 км/с) порівняно з цим же інтервалом глибин Волинського мегаблоку (6,11 км/с), що становить близько 4 %. Нижче (глибини 14–34 км) ступінь підвищення швидкості зменшується в чотири рази (1 %).

Суттєве зменшення з глибиною ступеня підвищення швидкості характеризує особливості вкорінення в земну кору інтрузій з підвищеною основністю. Ці особливості полягають, на наш погляд, у тому, що розплавлені маси, які надходили з верхньої мантиї, концентрувалися переважно у верхній та середній частинах земної кори.

Виявлена нами відмінність між особливостями швидкісних характеристик земної кори Волинського і Чоповицького масивів основних порід (рис. 3) може бути пояснена таким чином. Швидкісні характеристики порівнюваних структур відбивають перш за все особливості вкорінення магматичних розплавів основного складу в земну кору. Незважаючи на територіальну близькість масивів, характер укорінення розплавів між ними значно відрізняється. Наприклад, різкі перепади швидкостей в інтервалі глибини 0–12 км Волинського масиву небезпідставно можна пов'язати з наявністю не менше ніж 10 шарів порід переважно кислого й основного складу, що по чергову змінюють один одного. Слід підкреслити, що на глибинах 8–12 км спостерігаються максимальні перепади швидкостей (до 0,17–0,18 км/с) між окремими шарами.

У тому ж інтервалі глибин у Чоповицькому масиві виокремлюються лише 5 шарів при максимальному перепаді швидкостей у 0,18 км/с.

Таким чином, на цих глибинах, що просторово відповідають хвилеводу, відзначається максимальна різниця у речовинному складі між основними і кислими породами. Теоретично ця різниця мала б становити 0,50–0,60 км/с і більше, але з урахуванням активних контактів між цими породами їхній речовинний склад і швидкості можуть зближатися.

У цьому ж інтервалі глибин (0–12 км) Чоповицький масив є більш швидкісним (6,41 км/с), ніж Волинський (6,34 км/с), що становить понад 1 %.

Глибше (12–25 км) вертикальний градієнт швидкості G (скорочено градієнт) Чоповицького масиву ($0,0262 \text{ с}^{-1}$) у півтора рази вищий за градієнт Волинського ($0,0177 \text{ с}^{-1}$). Якщо в Чоповицькому масиві градієнт майже відповідає нормальним його значенням для Українського щита ($0,0271 \text{ с}^{-1}$), то такий градієнт Волинського масиву може свідчити про деяке виснаження інтервалу глибин 12–25 км на вміст застиглих розплавів основного складу. Водночас, для Чоповицького масиву характерні підвищені швидкості (на 0,10–0,18 км/с) порівняно з нормальними швидкостями для Українського щита. Ці перевищення зберігаються до глибини 34 км. Напевне, на відміну від Волинського масиву в земній корі Чоповицького масиву на глибинах 12–34 км спостерігається певний надлишок застиглих розплавів основного складу, який рівномірно розподіляється протягом усього зазначеного інтервалу глибин.

Глибше (25–31 км) у земній корі Волинського масиву фіксується різке зростання градієнта ($0,0640 \text{ с}^{-1}$), що відповідно спричиняє таке ж різке підвищення швидкостей.

Подібну аномалію можна пояснити підвищенням вмістом застиглих розплавів порід основного складу на цих глибинах.

Загалом Чоповицький масив більш швидкісний порівняно з Волинським – 6,63 км/с проти 6,54 км/с в інтервалі глибин 0–34 км.

Особливості просторового розподілу швидкостей в земній корі Коростенського плутону, визначені в нашій роботі, у подальшому можуть бути використані при створенні комплексної геолого-геофізичної моделі земної кори Українського щита. У майбутній моделі слід враховувати результати подібних досліджень, виконані на території Корсунь-Новомиргородського плутону, що характеризується деякими спільними рисами з Коростенським плутоном (Трипільський та ін., 2013). Це збагачить модель новими особливостями, що, без усякого сумніву, підвищать її якість.

Висновки. 1. Швидкості в земній корі Волинського мегаблока поступово зростають з глибиною від 5,85 км/с на денній поверхні до 7,07 км/с на глибині 40 км. На глибинах 7–10 км фіксується шар зі зниженою швидкістю при незначному зменшенні швидкості в ньому (–0,05 км/с). 2. Швидкість у земній корі Коростенського плутону зростає з глибиною від 6,09 км/с – на денній поверхні до 6,97 км/с – на глибині 34 км/с швидкість у земній корі вища, ніж у Волинському мегаблочі в середньому на 0,13 км/с. 3. В інтервалі глибин 1–13 км у земній корі Коростенського плутону виокремлено ряд зон інверсії швидкостей, викликаних чергуванням шарів зі зниженими та підвищеними швидкостями, що пов'язується з укоріненням міжпластових інтрузій основного складу. 4. Найбільш контрастні інверсії швидкостей припадають на глибини 8–13 км, де виокремлюються п'ять шарів потужністю близько 1 км кожен. Можна припустити, що глибини 8–13 км є найбільш сприятливими для вкорінення міжпластових інтрузій основного складу в земну кору. 5. Незважаючи на територіальну близькість Волинського і Чоповицького масивів основних порід, характер укорінення інтрузій в земну кору значно відрізняється. У Волинському масиві на глибинах 0–12 км виокремлено не менше десяти шарів з підвищеними і зниженими швидкостями, у Чоповицькому масиві – лише п'ять таких шарів. 6. Загалом, Чоповицький масив більш швидкісний, ніж Волинський – 6,63 км/с проти 6,54 км/с в інтервалі глибин 0–34 км. Це може свідчити, що в земну кору Чоповицького масива надійшов більший об'єм глибинних інтрузій, ніж у Волинського масиву.

Список використаних джерел

Ильченко, Т.В., Бухарев, В.П. (2001). Скоростная модель земной коры и верхов мантии Коростенского плутона (Украинский щит) и ее геологическая интерпретация (по профилям ГСЗ Шепетовка – Чернигов). Геофиз. журнал, 3, 72-82.

Калюжная, Л.Т., Трипольский, А.А. (2000). Глубинные строения плутонов Украинского щита (по сейсмическим данным). Доповіді НАН України, 5, 119-123.

Калюжная, Л.Т. (1976). Строение района Коростенских месторождений по геофизическим данным. Глубинные строения рудоносных районов Украинского щита (по геолого-геофизическим данным). Киев: Наукова думка, 30-38.

Соллогуб, В.Б., Чекунов, А.В., Литвиненко, И.В., Калюжная, Л.Т. (1987). Литосфера центральной и восточной Европы: Геотраверсы I, II, V. Киев: Наук.думка.

Соллогуб, В.Б., Калюжная, Л.Т., Гонтовая, П.И., Вовченко, Е.П. (1968). Строение земной коры северо-западной части Украинского щита по профилю ГСЗ Шепетовка-Чернигов. Геофиз. журнал АН УССР, 25, 31-47.

Трипольский, А.А., Калюжная, Л.Т., Омельченко, В.Д. (2000). Особенности глубинного строения плутонов гранитов рапакиви и габро-анортозитов Украинского и Балтийского щитов (по сейсмическим данным). Геофиз. журнал, 6, 121-136.

Трипільський, О. А., Тополіук, О. В., Трипільська, В. О. (2013). Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кіровоградського рудного району (КРР) Інгурського мегаблоку Українського щита. 2. Геофиз. журнал, 4, 161-169.

Трипольский, А.А., Шаров, Н.В. (2004). Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

Чекунов, А.В., Трипольский, А.А., Гейко, В.С., Ливанова, Л.П., Трипольская, В.А., Цветкова, Т.А. (1986). Сейсмические модели верхней литосферы Украинского щита. Докл. АН СССР, 2, 437-440.

Trypilsky, O., Kaluzhnaya, L. (2001). Deep structure of the Ukrainian Shield plutons on the basis of seismic data. Acta Geophysica Polonica, 4, 497-507.

References

Chekunov, A.V., Trypilsky, A.A., Geyko, V.S., Livanova, L.P., Trypilska, V.A., Cvetkova, T.A. (1986). Seismicheskiye modeli verkhney litosfery Ukrainского schita. Dokl. An SSSR, 2, 437-440. [in Russian]

Ilchenko, T.V., Buharev, V.P. (2001). Skorostnaya model zemnoy kory i verhov mantii Korosten'skogo plutona (Ukrainskiy schit) i yeyo geologicheskaya interpretatsiya (po profilam HSZ Shepetovka – Chernihov). Geophys. Journal, 3, 72-82. [in Russian]

Kaluzhnaya, L.T., Trypisky, A.A. (2000). Glubinnye stroyeniya plutonov Ukrainского Schita (po seismicheskim dannym). Dopovidi NAN Ukrainy, 5, 119-123. [in Russian]

Kaluzhnaya, L.T. (1976). Stroyeniye rayona Korosten'skih mestorozhdeniy po geophysicheskim dannym. Glubinnye stroyeniya rudosnykh rayonov Ukrainского schita (po geologo-geophysicheskim dannym). Kiev: Naukova dumka, 30-38. [in Russian]

Sollogub, V.B., Chekunov, A.V., Litvinenko, I.V., Kaluzhnaya, L.T. (1987). Litosfera centralnoy i vostochnoy Evropy; Geotraversy I, II, V. Kiev: Nauk. dumka. [in Russian]

Sollogub, V.B., Kaluzhnaya, L.T., Gontovaya, P.I., Vovchenko, E.P. (1968). Stroyeniye zemnoy kory severo-zapadnoy chaste Ukrainского schita po profile HSZ Shepetovka-Chernigov. Geophys. Journal AN USSR, 25, 31-47. [in Russian]

Trypilsky, A.A., Kaluzhnaya, L.T., Omelchenko, V.D. (2000). Osobennosti glubinnogo stroyeniya plutonov granitov rapakivi i gabbro-anortozitov Ukrainского i Balbiyskogo schitov (po seismicheskim dannym). Geophys. Journal, 6, 121-136. [in Russian]

Trypilsky, A.A., Sharov, N.V. (2004). Litosfera dokembriyskih schitov Severnogo polushariya Zemli po seismicheskim dannym. Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS. [in Russian]

Trypilsky, A.A., Topoliuk, O.V., Trypilska, V.A. (2013). Osoblivosti rozpodilu seysmichnih shvidkostey u zemniy kori Kirovograd'skogo rudnogo rayonu (KRR) Ingurskogo megabloku Ukrain'skogo schita. 2. Geophys. Journal, 4, 161-169. [in Ukrainian]

Trypilsky, O., Kaluzhnaya, L. (2001). Deep structure of the Ukrainian Shield plutons on the basis of seismic data. Acta Geophysica Polonica, 4, 497-507.

Надійшла до редколегії 18.05.17

Y. Rozyhan, Student,
E-mail: rose14@bigmir.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylivskva Str., Kyiv, 03022, Ukraine
O. Trypilskiy, Dr. Sci. (Geol.)
O. Topoliuk, PhD (Geol.),
E-mail: oksana.topoliuk@gmail.com
Institute of Geophysics National Academy of Science of Ukraine,
32 Palladina Ave., Kyiv, 03860, Ukraine

THE SPEED CHARACTERISTICS OF THE EARTH'S CRUST OF THE KOROSTEN PLUTON (UKRAINIAN SHIELD) ACCORDING TO THE DATA OF DEEP SEISMIC SOUNDING METHOD

A detailed comparative analysis of the velocity characteristics of the Earth's crust of the Korosten pluton, Volyn and Chopovitsky massifs of the basic rocks of the Volyn megablock of the Ukrainian Shield was carried out.

In the interval of depths of 3–13 km in the Earth's crust of the Korosten pluton, five sections are fixed, where the speed on a short interval first decreases with depth, then, on the contrary, increases. This is due to the presence in the section of a series of layers composed of rocks with reduced or elevated speeds, which alternate with increasing depth. Such changes in velocity are considered to be the results of alternation of rocks of the basic and acidic composition.

With depth, the rate of increase in velocity (vertical velocity gradient), which characterizes the features of rooting into the crust of an intrusion with increased basicity, significantly decreases. These features lie in the fact that the molten masses coming from the upper mantle were concentrated mainly in the upper and middle parts of the Earth's crust.

The distinction between the features of the speed characteristics of the Earth's crust of the Volynsky and Chopovitsky massifs of the main rocks is revealed. The velocity characteristics of the compared structures reflect the characteristics of the rooting of igneous melts of the basic composition into the Earth's crust. Despite the territorial proximity of the massifs, the nature of the rooting of the melts between them is significantly different. For example, abrupt changes in velocity in the depth interval of 0–12 km of the Volynsky massif can be attributed to the presence of, at least, 10 layers of rocks, predominantly of acidic and basic composition, which alternate each other. It should be emphasized that at depths of 8–12 km maximum speeds (up to 0.17–0.18 km/s) between individual layers are observed. In the same depth interval in the Chopovitsky massif, only 5 layers stand out with a maximum differential velocity of 0.18 km/s.

Keywords: *Ukrainian Shield, the velocity of seismic waves, vertical velocity gradient, graph $V = f(H)$.*

Ю. Розыган, студ.,

E-mail: rose14@bigmir.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

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

А. Трипольський, д-р геол.-минералог. наук,

О.Тополіук, канд. геол. наук,

E-mail: oksana.topoliuk@gmail.com

Інститут Геофізики ім. С.І. Суботина НАН України

пр. Палладина, 32, Київ, 03860, Україна

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМНОЙ КОРЫ КОРОСТЕНСКОГО ПЛУТОНА (УКРАИНСКИЙ ЩИТ) ПО ДАННЫМ МЕТОДА ГЛУБИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Осуществлен детальный сравнительный анализ скоростных характеристик земной коры Коростенского плутона, Волынского и Чоповицкого массивов основных пород Волынского мегаблока Украинского щита.

В интервале глубин 3–13 км в земной коре Коростенского плутона фиксируется пять участков, где скорость на коротком интервале сначала с глубиной уменьшается, после чего, наоборот, растет. Это объясняется наличием в разрезе серии слоев, составленных породами со сниженными и повышенными скоростями, которые поочередно сменяют друг друга с ростом глубины. Такие изменения скоростей рассматриваются как результат перемены пород основного и кислого состава.

С глубиной существенно уменьшается степень повышения скорости (вертикальный скоростной градиент), характеризующий особенности укоренения в земную кору интрузии с повышенной основностью. Эти особенности заключаются в том, что расплавленные массы, поступающие из верхней мантии, концентрировались преимущественно в верхней и средней частях земной коры.

Выявлено различие между особенностями скоростных характеристик земной коры Волынского и Чоповицкого массивов основных пород. Скоростные характеристики сравниваемых структур отражают особенности укоренения магматических расплавов основного состава в земную кору. Несмотря на территориальную близость массивов, характер укоренения расплавов значительно отличается. Например, резкие перепады скоростей в интервале глубин 0–12 км Волынского массива можно связывать с наличием не менее 10 слоев пород преимущественно кислого и основного состава, которые поочередно сменяют друг друга. Следует подчеркнуть, что на глубинах 8–12 км наблюдаются максимальные перепады скоростей (до 0,17–0,18 км/с) между отдельными слоями. В том же интервале глубин в Чоповицком массиве выделяется лишь 5 слоев при максимальном перепаде скоростей 0,18 км/с.

Практическая значимость работы заключается в том, что особенности пространственного распределения сейсмических скоростей в земной коре Коростенского плутона в дальнейшем могут быть использованы при создании комплексной геолого-геофизической модели земной коры Украинского щита и для геологической интерпретации данных региональных сейсмических исследований, выполненных на территории Корсунь-Новомиргородского плутона Украинского щита, который имеет много общих черт с Коростенским плутоном.

Ключевые слова: *Украинский щит, скорость распространения сейсмических волн, вертикальный скоростной градиент, график $V = f(H)$.*

УДК 550.831.017

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: pgryshchuk@gmail.com
ТУТКОВСЬКИЙ, Міжнародний хаб природних ресурсів
вул. Дубровицька, 28, м. Київ, 04114, Україна

НОВИЙ АЛГОРИТМ ІНВЕРСІЇ ГРАВІТАЦІЙНИХ ДАНИХ

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

Розглянуто новий алгоритм інверсії гравітаційних аномалій. В основу підходу покладено принцип переміщення мас геологічних об'єктів, що дозволяє визначити їхню геометрію. У сітковій моделі рух виконується в чотирьох напрямках для двовимірної моделі. Випадковим чином визначається напрямок переміщення густини та її зміна. Застосування алгоритму дало змогу одержати геометрію трьох прямокутних тіл, з яких складалася модель. Було з'ясовано умови визначення достовірної форми гравітаційних джерел запропонованим підходом. Виконано аналіз інверсії аномалій прискорення сили тяжіння від трьох тіл для розрізів, які склалися з трьох, чотирьох і п'яти шарів. Тіла з однаковою густиною визначалися точно для трьох і чотирьох шарів, а з погрішностями – для п'яти. Модель з двома густинами мала деякі похибки при визначенні геометрії тіл.

Наукова новизна пов'язана з розробкою нового алгоритму, який ґрунтується на принципі переміщення густини між блоками. Запропонований підхід виконує гравітаційну інверсію значно швидше генетичного алгоритму. Практична значимість полягає у визначенні кількості шарів, коли виконується точна інверсія гравітаційних аномалій. Основними факторами, що впливають на достовірність геометрії, є дані про густину тіл і кількість шарів. Метод застосовано для інтерпретації гравітаційної аномалії над кам'яновугільними відкладами Донбасу. Модель складалася із п'яти шарів і заданого діапазону надлишкових густин для порід розрізу. За результатами інверсії було визначено глибину до поверхні вапняків, яка відповідає даним буріння. Створений підхід дозволяє отримати геометрію розрізу по розподілу щільності, що важливо для геологічних, пошукових та екологічних задач.

Ключові слова: гравітаційна інверсія, кількість шарів моделі, алгоритм переміщення мас, точність інверсії, генетичний алгоритм, кам'яновугільні пласти Донбасу.

Вступ. Гравірозвідка використовується для вирішення широкого кола задач. LaFert ma Nabighian (2012) наводять приклади застосування гравіметричних досліджень для оконтурення соляних куполів, виявлення пасток вуглеводнів, знаходження пласта-колектора у свердловині, пошуків сульфідного покладу, розвідки алмазонасних структур, моніторингу вуглеводневих резервуарів, вивченню будови земної кори та верхньої мантії.

Інверсія – це кількісна інтерпретація даних, яка ґрунтується на математичних розрахунках (Jacoby and Smilde, 2009). Визначення розподілу густини під денною поверхнею є гравітаційною інверсією і має неоднозначне вирішення. Для підвищення достовірності задається певний клас моделей. Як правило, модель обмежується простою формою. Наприклад, у методі характерних точок використовується куля, горизонтальний та вертикальний циліндри (Кошелев, 1984), які мають відомі значення густини. Для моделювання складних форм застосовується сітковий простір, який складається з окремих блоків у вигляді прямокутників. У них визначається густина і за її схожими значеннями можна отримати геометрію тіл. Така задача є нелінійною. У цьому випадку важливо з'ясувати, за якої кількості шарів отримується точний результат гравітаційної інверсії для теоретичної моделі.

Розглянемо основні підходи для інверсії аномалій прискорення сили тяжіння з прикладами використання для різної кількості шарів. Fisher ma Howard (1980) продемонстрували спосіб квадратичного програмування для тришарового середовища, яке складено прямокутними блоками. Підхід було застосовано для інтерпретації гравітаційного профілю над вугільними басейнами Galilee та Drummond у штаті Квінсленд (Австралія). Тришарова гравітаційна інверсія густини добре корелюється із сейсмічними даними. Last та Kubik (1983) розробили принцип компактного тіла для двовимірної інверсії гравітаційних моделей. Інтерпретація за цим підходом для окремих теоретичних тіл дала точний результат навіть при накладанні завад. Розріз мав 3 шари з 9 блоками в кожному. Компактну інверсію застосовано для аномалії над батолітом Guichon Creeku Британської Колумбії (Канада), який містить поклади міді. Модель складалася із чотирьох шарів, верхній з яких мав фіксоване значення

густини. Li ma Oldenburg (1998) застосували перетворення Фур'є для вирішення оберненої задачі гравіметрії в тривимірному варіанті. Модельний розріз складався із 10 шарів, в яких налічувалося 20 блоків. Результат цієї інверсії має наближений вигляд для теоретичних моделей, які склалися з двох тіл, але з різною надлишковою густиною. Верхні шари більше відповідали вхідним моделям, бо розташовувалися ближче до точок спостережень. Застосування методики виконано для гравітаційних даних сульфідного покладу Stratmat Main Zone, що знаходиться на півночі провінції Нью-Брансуїк (Канада) для розрізу із 18 шарів по 40 блоків у кожному. В останній період у задачах інверсії став застосовуватися генетичний алгоритм і метод відпалу. Перший алгоритм ґрунтується на принципах біологічної еволюції. Тривимірна інверсія за еволюційним алгоритмом засвідчила повну відповідність до окремої покідної моделі (Zhang et al., 2004). Алгоритм було застосовано до моделювання кристалічної структури центрального Тайваню для розрізу із 15 шарів по 60 блоків. Метод відпалу ґрунтується на фізичному процесі кристалізації речовини (Roy et al., 2005). Модельний розріз складався із шару води і осадків, які залягали на фундаменті. Теоретичні приклади підтвердили достатню точність при виконанні інверсії з накладанням завад на вхідні дані. Дво- та тривимірну гравітаційну інверсію було застосовано для визначення товщини води і осадків під льодом для озера Восток у Східній Антарктиці. За вертикальними розмірами блоків підбиралися товщини верхнього (лід і вода) і нижнього (осадки) шарів. По горизонталі розріз складався із 50 блоків.

Огляд результатів інверсії різними підходами дозволяє свідчити про таке (табл. 1). Двовимірна компактна інверсія дає точний результат для окремого теоретичного тіла в тришаровому розрізі, який складено із 9 блоків уздовж профілю. Тривимірна інверсія генетичним алгоритмом дає точний результат також у випадку окремого тіла для моделі із 12 шарів по 21 блоку в кожному.

Аналіз інверсійних алгоритмів підказав два завдання для впровадження. По-перше, бажано створити алгоритм, який був більше пов'язаний з утворенням геологічних об'єктів. По-друге, за наявності інверсійного алгоритму важливим є з'ясування умов, за яких виконується точна інверсія для теоретичних моделей.

Таблиця 1

Основні методики гравітаційної інверсії та їхнє застосування

Методика	Кількість блоків моделі		Приклади інверсії та густина (кг/м³)		Автори (рік)
	Вертикальних	Горизонтальних	Вірогідність	Практичний	
Двовимірна інверсія з квадратичним програмуванням	3	16	Практична інверсія підтверджується сейсмічними даними	Вугільні басейни Galilee та Drummond (Австралія) ($\sigma = 2350-2750$)	Fisher N.J. and Howard L.E. (1980)
Двовимірна інверсія компактним тілом	3	9	Теоретична інверсія точна і з 15 % завадами для окремого тіла ($\Delta\sigma = 1000$)	Батоліт Guichon Creek з покладами міді (Канада) ($\Delta\sigma = -150-0$)	Last B.J. and Kubik K. (1983)
Тривимірна інверсія на основі Фур'є-перетворень	10	20	Наближена теоретична і практична інверсія для двох тіл ($\Delta\sigma = 1000$ і 800)	Родовище міді, свинцю і цинку Heath Steele Stratmat (Канада) ($\Delta\sigma = 40-360$)	Li Y. and Oldenburg D.W. (1998)
Тривимірна інверсія з генетичним алгоритмом	12	21	Точна синтетична інверсія для окремого тіла ($\Delta\sigma = 1000$)	Кристалічна структура Центрального Тайваню ($\sigma = 2000-3000$)	Zhang J., Wang C., Shi Y., Cai Y., Chi W.-C., Dreger D., Cheng W.-B., and Yuan Y.-Q. (2004)
Дво- та тривимірна інверсія методом відпалу	2	24	Достатньо точно визначається модель, яка складається з води, осадків і фундаменту ($\sigma = 1000, 2000$ та 2500)	Визначення товщини води і осадків під льодом у фундаментах для озера Восток у Східній Антарктиці ($\sigma = 1000, 2000$ та 2700)	Sen M. K., Blankenship D.D., Stoffa P.L., and Richter T.G. (2005)

Теорія алгоритму переміщення мас. Для автоматизованого створення складних форм найбільш зручною є сіткова модель. Вона складається з прямокутних блоків, в яких густина має власне значення (рис. 1). Наведемо оптимізовані аналітичні формули (Last and Kubik, 1983) для швидкого розрахунку аномалії прискорення сили тяжіння для прямокутних нескінченних блоків

$$g_i = \sum_{j=1}^N k_j \sigma_j, \quad i = 1 \dots M, \quad j = 1 \dots N, \quad (1)$$

де σ_i – густина блока, M – кількість пунктів спостережень, N – кількість блоків, k_j – коефіцієнт, який характеризує вплив блока на гравітаційне значення і розраховується як

$$k_j = 2\gamma \left[(\square + r) \log \left(\frac{r_2 r_3}{r_1 r_4} \right) + 2r \log \left(\frac{r_4}{r_3} \right) - (z + h)(o_4 - o_2) + (z - h)(o_3 - o_1) \right], \quad (2)$$

де відстані між пунктами спостережень і центрами блоків визначаються як $\square = \square_i - \square_j$, $z = z_i - z_j$, а їхні кутові точки дорівнюють

$$r_1 = \sqrt{(z - h)^2 + (\square + r)^2}, \quad r_2 = \sqrt{(z + h)^2 + (\square + r)^2}, \\ r_3 = \sqrt{(z - h)^2 + (\square - r)^2}, \quad r_4 = \sqrt{(z + h)^2 + (\square - r)^2},$$

$$o_1 = \arctg \left(\frac{\square + r}{z - h} \right), \quad o_2 = \arctg \left(\frac{\square + r}{z + h} \right),$$

$$o_3 = \arctg \left(\frac{\square - r}{z - h} \right), \quad o_4 = \arctg \left(\frac{\square - r}{z + h} \right),$$

$\gamma = 0,0000667$ – це константа, яка пов'язана з гравітаційною сталою для відстані в метрах.

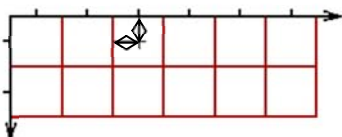


Рис. 1. Сіткова двовимірна модель з точками спостережень (i) та номерами блоків (j) з вертикальними (h) і горизонтальними (r) половинами їхніх розмірів

Для моделювання геометрії аномальних джерел гравітації потрібен алгоритм, який би нагадував природне утворення геологічних тіл. Загальним підходом для формування гравітаційної маси є скупчення порід з певними властивостями густини. Такий об'єкт може утворитися внаслідок збільшення, зменшення або переміщення маси. На основі цього принципу створено новий алгоритм. Розріз складається з блоків, в яких визначається густина. Речовина в природі може переміщуватися, тому блок наділяється здатністю рухатися в чотирьох перпендикулярних напрямках для двовимірного варіанта (рис. 2). У деяких випадках густина блока може бути перенесена з одного блока (a) до іншого (a') на значну відстань, наприклад переміщення лави або льодовика. Рух зміни густини показано стрілками. Справа ліворуч відбувається підбір густини з нижнього шару, а зліва праворуч – з верхнього шару. Послідовність перебору густини в блоках виконується в шарах з нумерацією від 1 до 6 для тришарової моделі середовища.

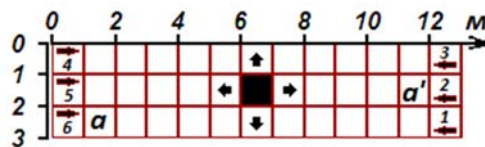


Рис. 2. Приклади руху та перенесення густини блоків

Опишемо запропонований алгоритм (рис. 3). Вхідними даними тут є аномалії прискорення сили тяжіння. Новий алгоритм належить до стохастичного, оскільки спочатку випадковим чином обирається одна із дій як вибір густини або її переміщення в інший блок (рис. 2). Наступним кроком є розрахунок гравітаційного поля від поточної моделі, який здійснюється за формулами (1–2) для двовимірного варіанта. Далі відбувається порівняння горизонтального градієнта вхідного і розрахованого полів (ф. 3). На останньому етапі відбувається перевірка наближення розрахованого поля до вхідного (ф. 4). Цей параметр задається для зручності у відсотках і дорівнює 1 % за точної інверсії. Формули, які використовуються в алгоритмі переміщення мас, наведено нижче.

Як цільові функції розглядалися середня, середньоквадратична та логарифмічна норми, але більш стабільний результат виконувався для середньої норми

градієнта аномального гравітаційного поля. Тому порівняння вхідного і розрахованого полів виконувалося за допомогою середньої норми горизонтального градієнта вздовж профілю спостережень прискорення сили тяжіння за такою формулою:

$$E_{ep} = \frac{1}{M} \sum_{i=2}^N \left| (\Delta g_i^{ex} - \Delta g_{i-1}^{ex}) - (\Delta g_i^{poz} - \Delta g_{i-1}^{poz}) \right|. \quad (3)$$

Різниця між вхідним і розрахованим гравітаційним полем визначалася у відсотках за формулою

$$E_{\%} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\gamma_i^{ex} - \gamma_i^{poz}}{\gamma_i^{ex}} \right| \cdot 100 \%, \quad (4)$$

де $i = 1, \dots, M$ кількість вхідних (Δg_i^{ex}) і розрахованих (Δg_i^{poz}) аномальних значень прискорення сили тяжіння.

Приклади інверсії на теоретичних моделях. Аналіз роботи природного алгоритму розглянемо на теоретичних моделях. Тришарова модель складалася із трьох тіл (рис. 4, а), які розташовувалися на різних рівнях. Перше тіло не торкалося верхнього та нижнього рівнів вертикального розрізу, тобто було в проміжному положенні. Друге тіло починалося з верхнього шару, але не доходило до нижнього. Третій об'єкт був унизу і не виходив на верхню лінію розрізу. Рівнорівневе розташування тіл дозволяло виявити особливості роботи алгоритму інверсії. Відомо, що зі збільшенням глибини об'єктів точність їхнього знаходження зменшується. Тому було збільшено на один шар конфігурацію попередньої моделі зі збільшенням товщини тіл (рис. 4, б). За аналогією було створено модель із п'яти шарів (рис. 4, в). У зазначених моделях тіла мали однакову надлишкову густину ($\Delta \sigma$), яка становила 1000 кг/м^3 . Для визначення впливу тіл з

різною густиною на результат інверсії було використано тришарову модель, в якій центральне тіло мало надлишкову густину 500 кг/м^3 , а крайні об'єкти – по 1000 кг/м^3 (рис. 4, г).

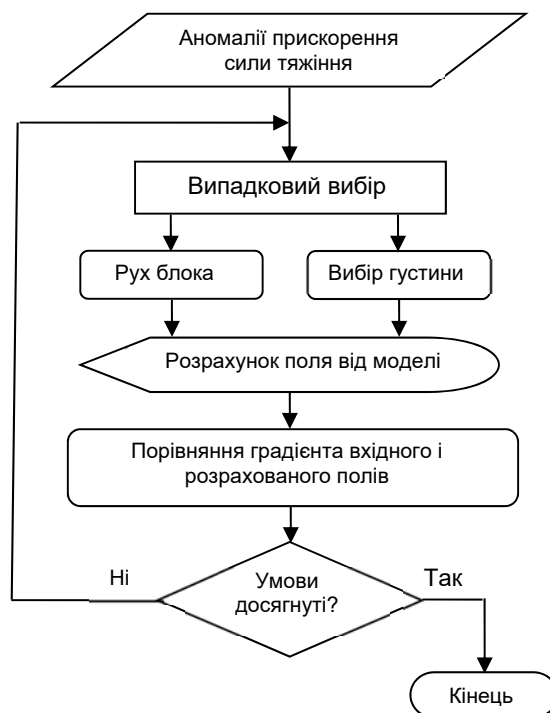


Рис. 3. Алгоритм переміщення мас для інверсії гравітаційних аномалій

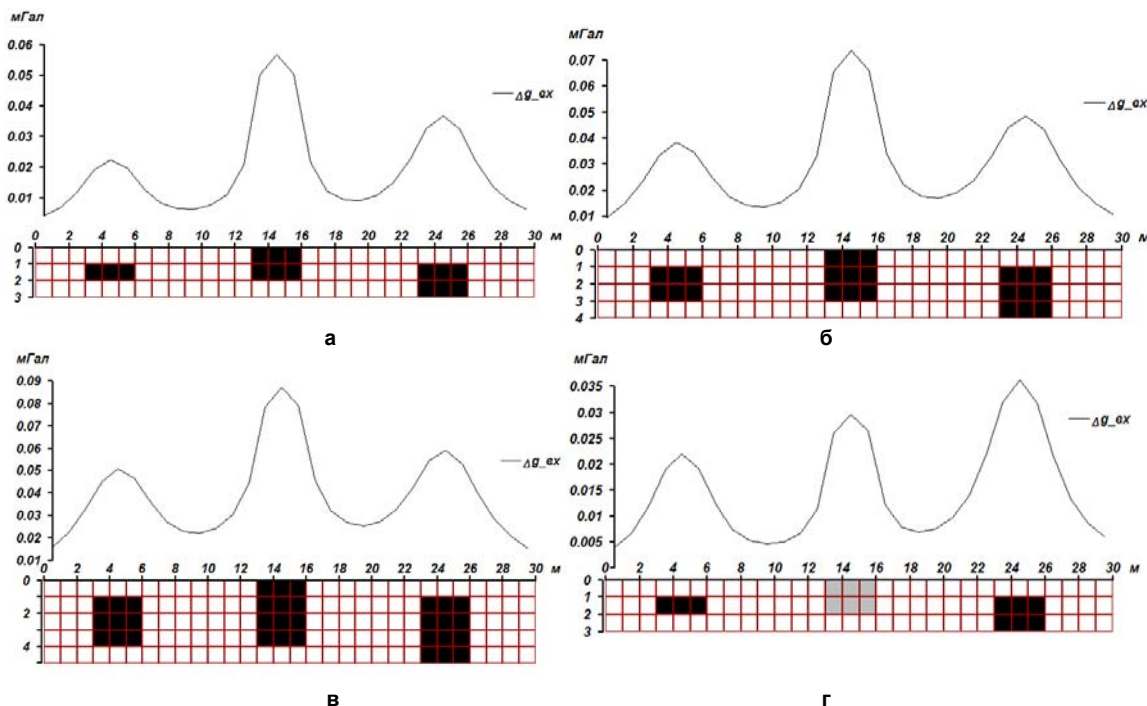


Рис. 4. Аномалії прискорення сили тяжіння над вхідними моделями, які складаються із трьох тіл ($\Delta \sigma = 1000 \text{ кг/м}^3$) для трьох (а), чотирьох (б), п'яти (в) шарів і двох надлишкових густин ($\Delta \sigma = 1000$ і 500 кг/м^3) (г)

Застосування алгоритму переміщення мас дало точний результат для моделей із трьох і чотирьох шарів. Модель із п'ятьма шарами була визначена не зовсім точно через один блок у нижньому шарі (рис. 5, а). Отже, надійно визначалася модель, яка складалася із трьох і

чотирьох шарів. Дослідження показали, що за відомої однакової надлишкової густини можна виконувати точну гравітаційну інверсію для трьох тіл. У наведених прикладах вибір цього параметра відбувався для двох значень 0 та 1000 кг/м^3 .

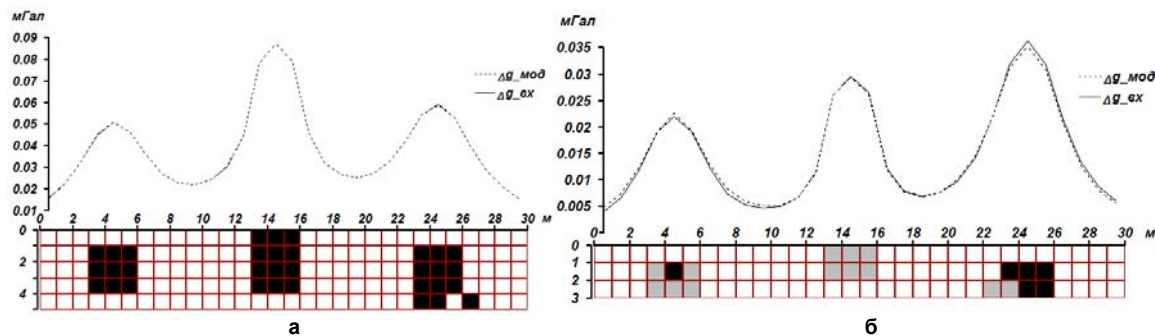


Рис. 5. Інверсія аномалій прискорення сили тяжіння для п'яти шарів (а) і двох надлишкових густин (б)

У випадку, коли модель мала три різні надлишкові густини, а саме 0,500 та 1000 кг/м³, результат інверсії вже був менш достовірний (рис. 5, б). У цьому випадку центральне тіло з меншою надлишковою густиною було визначено точно. Більше за об'ємом тіло, розташоване внизу, було добре визначено, крім одного блока. Найменший об'єкт, який розміщувався на проміжній глибині та створював найменшу аномалію, був гірше визначений за геометрією та надлишковою густиною. Отже, збільшення кількості значень густини для окремих трьох тіл ускладнює отримання правильного результату гравітаційної інверсії.

Поведінка цільових функцій при інверсії аномальних даних прискорення сили тяжіння більш плавна для моделей із трьох і чотирьох шарів на відміну від п'ятишарового розрізу (рис. 6), де один блок не зайняв правильного місця (див. рис. 5, а).

Гравітаційна інверсія новим алгоритмом виконувалася швидко і з малою кількістю ітерацій (табл. 2). Кожний шар складався із 30 квадратних блоків зі стороною 1 м. Визначення значень надлишкової густини для 90, 120 та 150 блоків становило частки секунд. Середнє значення для інверсії 3, 4 та 5 шарів становить 0,5 с. Для порівняння підбір генетичним алгоритмом для 3 і 4 шарів виконується в середньому за 43,9 с, а для нового підходу – 0,4 с. Тобто можна зазначити, що останній алгоритм працює в 120 разів швидше за генетичний.

Середня кількість ітерацій розробленого алгоритму для моделі із 3 і 4 шарів становить 21, а для генетичного – 239 (табл. 3). Таким чином, кількість ітерацій у 12 разів більше для перемішувального способу підбору густини, ніж для генетичного. Важливою перевагою є здатність нового алгоритму виконувати майже точну інверсію на один шар більше, тобто для п'яти шарів.

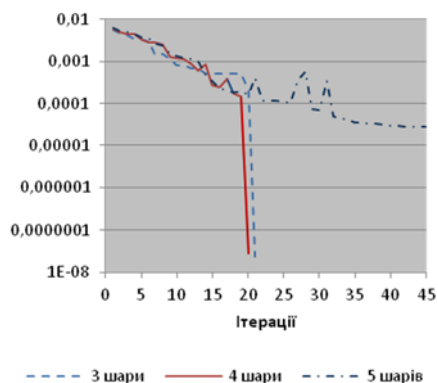


Рис. 6. Залежність середньої норми градієнта аномального прискорення сили тяжіння від кількості ітерацій для трьох, чотирьох і п'яти шарів

Таблиця 2

Результат інверсії гравітаційних даних алгоритмом переміщення густини

Кількість надлишкових густин	Кількість шарів	Кількість ітерацій	Час, с	Погрішність цільової функції, E_{gr}	Різниця вхідних і розрахованих полів, $E_{\%}$
1	3	21	0.343	2.30037e-008	0.000076544
	4	20	0.380	2.82191e-008	0.000102223
	5	45	0.75	2.81073e-005	1.91498
2	3	28	0.37	0.000241957	3.82522

Таблиця 3

Результат інверсії гравітаційних даних генетичним алгоритмом

Кількість надлишкових густин	Кількість шарів	Кількість ітерацій	Час, с	Погрішність цільової функції, $E_{град}$	Різниця вхідних і розрахованих полів, $E_{\%}$
1	3	210	3.697	2.30037e-008	7.65439e-005
	4	267	84.009	2.82191e-008	0.000102223

Приклад інтерпретації гравітаційної аномалії Донбасу. Метод переміщення маси застосовано для інверсії аномалій прискорення сили тяжіння над вугільними пластами Донбасу (Абелський і др., 1954). Вугленосні породи кам'яновугільного віку розташовані на вапняках девонського часу утворення, які залягають на породах докембрійського періоду. Виконання гравітаційної інверсії ускладнено відсутністю помітної різниці в густині порід докембрію та палеозою, а також через густинні неоднорідності в породах докембрійського та кам'яновугільного часу утворення. Відомі густини дозволили визначити їхні надлишкові значення для порід вугілля та вапняку для виконання гравітаційної підбору алгоритмом перемі-

щення густини (табл. 4). Модель складалася із п'яти шарів, в яких блоки мали розмір 500 x 300 м. Дослідження засвідчили, що вузький діапазон надлишкових густин не дає достатнього збігу розрахованого поля із вхідним. Крайній збіг гравітаційних полів та його кореляція з геологією (рис. 7) була отримана при широкому діапазоні зміни надлишкової густини (від -400 до 400 кг/м³), що відповідає різниці між густиною вапняків і вугілля, оскільки 400 - (-400) = 800 кг/м³, а саме (2700 - 1900 = 800 кг/м³).

У загальному випадку форма гравітаційної аномалії відповідає моделі уступу (LaFehr and Nabighian, 2012). Результат інтерпретації підтверджується наявною свердловиною та відповідає геологічному розрізу.

Таблиця 4

Дані для інверсії гравітаційної аномалії над вугільними пластами Донбасу

№	Порода	Вік породи	Густина(σ), кг/м ³	Надлишкова густина ($\Delta\sigma$), кг/м ³
1	Вугілля	Карбон	1900	-400+400
2	Вапняк	Девон	2600-2700	-400+400

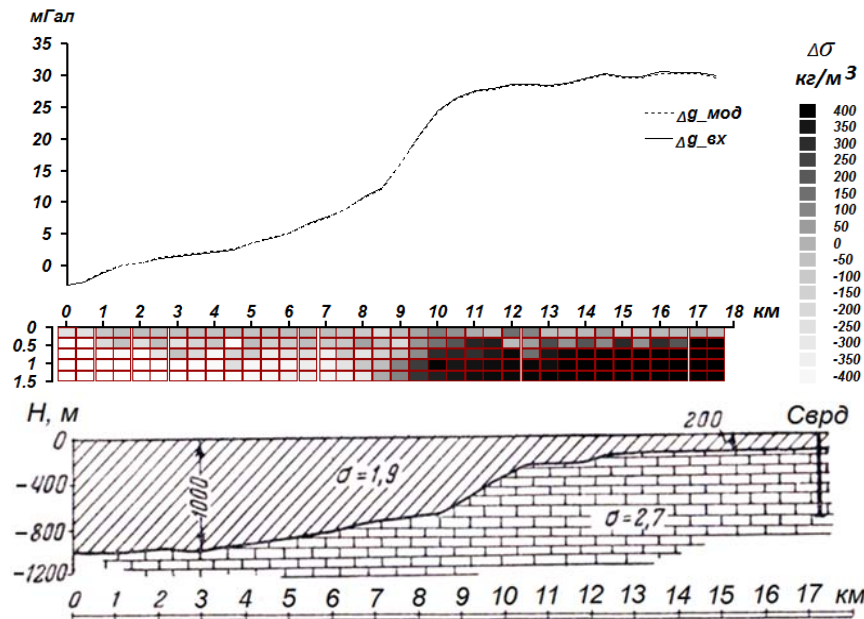


Рис. 7. Результати інверсії прискорення сили тяжіння та геологічний розріз над районом Донбасу (за М.М. Самсоновим)

Висновки. У роботі описано теорію нового алгоритму інверсії аномалій гравітаційного поля для двовимірного варіанта. Підхід ґрунтується на перенесенні мас порід, який виконується між блоками в чотирьох напрямках вертикальної площини. Точні результати інверсії отримано на теоретичних моделях для трьох і чотирьох шарів при мінімізації горизонтального градієнта аномалій прискорення сили тяжіння. Новий підхід виконує підбір моделі швидше і на один шар глибше, ніж генетичний метод. Розроблений алгоритм застосовано для інтерпретації гравітаційної аномалії над вугільними пластами в Донбасі й відповідає даним буріння. Перспективи розробки пов'язані зі збільшенням кількості шарів розрізу та зменшенням розмірів блоків.

Список використаних джерел

- Абельский, М. Е., Андреев, Б. А., Голомб, В. Э., Самсонов, Н. Н. (1954). Курс гравиразведки. Москва: Госгеолтехиздат.
 Кошелев, И. Н. (1984). Гравитационная и магнитная разведка. Практикум. Киев: Вища школа.
 Fisher, N. J., Howard, L. E. (1980). Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*, 45, 403-419.
 Jacoby, W., Smilde, P. L. (2009). *Gravity Interpretation: Fundamentals and Application of Gravity Inversion and Geological Interpretation*. Springer, Heidelberg, Germany.
 LaFehr, T. R., Nabighian, M. N. (2012). *Fundamentals of Gravity Exploration*. SEG, Tulsa.
 Last, B. J., Kubik, K. (1983). Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 713-721.

- Li, Y., Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63, 109-119.
 Roy, L., Sen, M. K., Blankenship, D. D., Stoffa, P. L., Richter, T. G. (2005). Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: An application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*, 70, J1-J12.
 Zhang, J., Wang, C., Shi, Y., Cai, Y., Chi, W.-C., Dreger, D., Cheng, W.-B., Yuan, Y.-H. (2004). Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*, 69, 917-924.

References

- Abelskii, M. E., Andreev, B. A., Golomb, V. E., Samsonov, N. N. (1954). The course of gravity prospecting. M.: Gosgeoltekhnizdat. [in Russian]
 Fisher, N. J., Howard, L. E. (1980). Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*, 45, 403-419.
 Jacoby, W., Smilde, P. L. (2009). *Gravity Interpretation: Fundamentals and Application of Gravity Inversion and Geological Interpretation*. Springer, Heidelberg, Germany.
 Koshelev, I.N. (1984). *Gravitational and magnetic exploration. Practical work. K.: High school*. [in Russian]
 LaFehr, T. R., Nabighian, M. N. (2012). *Fundamentals of Gravity Exploration*. SEG, Tulsa.
 Last, B. J., Kubik, K. (1983). Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 713-721.
 Li, Y., Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63, 109-119.
 Roy, L., Sen, M. K., Blankenship, D. D., Stoffa, P. L., Richter, T. G. (2005). Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: An application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*, 70, J1-J12.
 Zhang, J., Wang, C., Shi, Y., Cai, Y., Chi, W.-C., Dreger, D., Cheng, W.-B., Yuan, Y.-H. (2004). Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*, 69, 917-924.

Надійшла до редколегії 12.12.17

P. Gryshchuk, Cand. Sci.(Geol.), Assoc. Prof.,
 E-mail: pavel@univ.kiev.ua
 TUTKOVSKY, International hub of natural resources
 28 Dubrovyska Str., Kyiv, 04114, Ukraine

NEW ALGORITHM FOR INVERSION OF GRAVITATIONAL DATA

The article is devoted to the description of the new algorithm for inversion of gravitational anomalies. The principle of the geological objects mass displacement is used for definition of its geometry. In the grid model, the movement of blocks is performed in four directions for a two-dimensional model. The motion and changing of density is determined in a random style. This algorithm defined the geometry of three rectangular bodies of model. The conditions for determining the exact form of gravity sources by the proposed approach were clarified. An analysis of the inversion of gravity acceleration anomalies from three bodies for sections, which consisted of three, four and five layers, was performed. The bodies of identical density were determined exactly for three and four layers, and with errors for the five layers. The model with two densities had some errors in determining the geometry of the bodies. Scientific novelty is related to the development of new algorithm, which is based on the principle of moving

for density between blocks. The new approach fulfils gravity inversion much faster than the genetic algorithm. The practical significance is determination of the number of layers needed for a proper inversion of gravity anomalies. The main factors influencing the accuracy of geometry are the data of body density and the number of layers. The method was used for the interpretation of gravity data over the coal deposits of the Donbas. The model consisted of five layers and a range of minimum to their maximum densities for the geological section. Data of the inversion was determined by the depth to the surface of the limestone, which is confirmed by the data of the drilling. The developed approach determines the geometry of section from density, which is important for geological, search and environmental tasks.

Keywords: gravitational inversion, number of layers of the model, mass movement algorithm, inversion accuracy, genetic algorithm, coal layers of the Donbas.

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: pgryshchuk@gmail.com

ТУТКОВСКИЙ, Международный хаб природных ресурсов

ул. Дубровицкая, 28, г. Киев, 04114, Украина

НОВЫЙ АЛГОРИТМ ИНВЕРСИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Рассмотрен новый алгоритм инверсии гравитационных аномалий. В основе подхода лежит принцип перемещения масс геологических объектов, что позволяет определить их геометрию. Для сеточной модели движение выполняется в четырех направлениях для двумерной модели. Случайным образом определяется направление перемещения плотности и ее изменение. Применение алгоритма позволило получить геометрию трех прямоугольных тел, из которых состояла модель. Были выяснены условия определения достоверной формы гравитационных источников предложенным подходом. Выполнен анализ инверсии аномалий ускорения силы тяжести от трех тел для разрезов, которые состояли из трех, четырех и пяти слоев. Тела с одинаковой плотностью определялись точно для трех и четырех слоев, а с погрешностями – для пяти. Модель с двумя плотностями имела некоторые погрешности при определении геометрии тел.

Научная новизна связана с разработкой нового алгоритма, основанного на принципе перемещения плотности между блоками. Предложенный подход выполняет гравитационную инверсию значительно быстрее генетического алгоритма. Практическая значимость заключается в определении количества слоев, когда выполняется точная инверсия гравитационных аномалий. Основными факторами, влияющими на достоверность геометрии, являются данные о плотности тел и количестве слоев. Метод применен для интерпретации гравитационной аномалии над каменноугольными отложениями Донбасса. Модель состояла из пяти слоев и заданного диапазона избыточных плотностей для пород разреза. По результатам инверсии была определена глубина до поверхности известняков, которая соответствует данным бурения. Созданный подход позволяет получить геометрию разреза по распределению плотности, что важно для геологических, поисковых и экологических задач.

Ключевые слова: гравитационная инверсия, количество слоев модели, алгоритм перемещения масс, точность инверсии, генетический алгоритм, каменноугольные пласты Донбасса.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553:332.122.5(477)

В. Волков, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: volkovvp49@gmail.com
Л. Горошкова, д-р екон. наук, проф.,
E-mail: goroshkova69@gmail.com
Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна

ПРОБЛЕМИ ОБЛІКУ ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ ДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

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

Сформовано системний підхід до управління видобутком, використанням, експортом та імпортом нерудних корисних копалин для будівництва з урахуванням економічних параметрів розвитку кон'юнктури світового та вітчизняного ринку.

Проведений аналіз показав, що класифікації корисних копалин, які використовуються Державною службою геології та надр, Держкомстатом України і статистики зовнішньоекономічної діяльності – кодами УКТЗЕД – не збігаються, що ускладнює процес дослідження з використанням даних офіційних джерел.

За результатами проведених досліджень показників динаміки видобутку корисних копалин у натуральному та вартісному вимірі встановлено їхній незбіг. Також був проведений аналіз динаміки та географічної структури експортно-імпорتنних операцій з піском природним, галькою, гравієм і щебенем. Отримані результати дозволили дійти висновку, що підхід до формування експортних потоків щодо корисних копалин є нераціональним, оскільки створює загрозу для фінансового стану добувної галузі та країни. Проведено також аналіз географічної структури експорту та імпорту пісків природних і гальки, гравію, щебеня, який дозволив запропонувати використання системного підходу до раціонального видобутку, використання мінерально-сировинної бази країни з одночасним урахуванням експортно-імпорتنних потоків і цінової кон'юнктури зовнішнього та внутрішнього ринків і врахуванням ресурсної складової безпеки держави.

Ключові слова: мінерально-сировинна база, нерудні корисні копалини для будівництва, будівельний камінь, пісок, керамзитова сировина, прогнозування, моделювання, управління.

Постановка проблеми. Україну вважають державою з унікальною мінерально-сировинною базою (МСБ), що зумовлено особливостями геологічної будови її території (*Примушко, 2017*). За офіційними даними (*Примушко, 2017*), у надрах країни виявлено понад 20 тис. родовищ і проявів із 117 видів мінеральної сировини. Унаслідок цього в Україні наявна можливість забезпечення власних потреб країни у низці корисних копалин та їхньому експорті. Однак деякими видами корисних копалин власні запаси не забезпечують потреби країни, що зумовлює необхідність їхнього імпорту. У першу чергу це стосується корисних копалин паливно-енергетичного напрямку. З урахуванням важливості ресурсного забезпечення розвитку країни, відтворення її МСБ і створення умов для приросту корисних копалин у 2012 р. була прийнята Загальнодержавна програма розвитку МСБ України на період до 2030 р. (*Закон України, 2012*), але станом на 2017 р. очікувані темпи відтворення та приросту МСБ не досягнуті. З метою забезпечення можливості виконання програми важливим є пошук шляхів підвищення рівня ефективності використання МСБ країни і створення системи управління збалансованим видобутком, використанням, експортом та імпортом корисних копалин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам геологічного вивчення надр та економічних аспектів надрокористування, присвячені роботи А.В. Бодюка, С.О. Довгого, М.М. Коржнева, М.М. Костенка, Є.О. Куліша, М.В. Курило, О.А. Лисенка, В.А. Михайлова, В.С. Міщенко та ін. (*Бордюк, 2013; Довгий та ін., 2007; Коржнев та ін., 2006; Лисенко та ін., 2017; Михалов та ін., 2006*). Серед досліджуваних проблем можливо виокремити такі: класифікація нерудних корисних копалин, геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин за природними параметрами (запаси, терміни експлуатації, глибина залягання, якість покладів та ін.) та їхніми фінансово-економічними показниками (собівартість видобутку, прибутковість, рентабельність та ін.). Особлива увага приділяється питанням державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин (*Положення, 1994*). Цікавими є статті, присвячені деяким аспектам розвитку добувної промисловості та експорту корисних копалин до ЄС і дослідженню впливу ресурсної орієнтованості вітчизняного експорту та імпорту

на економічний стан країни (*Криворучко, 2015; Криворучко, 2015; Харчук та Аділан, 2016*).

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. З урахуванням того, що під загрозою перебуває виконання Загальнодержавної програми розвитку МСБ України на період до 2030 р. унаслідок постійного недофінансування геологорозвідувальних робіт, передбачених програмою, існує необхідність пошуку нових, інноваційних рішень, що не вимагають додаткового фінансового забезпечення для їхнього виконання. Такі рішення, на нашу думку, на відміну від традиційних, мають спиратися не тільки на геологічну інформацію щодо МСБ і результати геолого-економічної оцінки родовищ, а використовувати системний підхід і методи економічного планування та прогнозування видобутку, використання, експорту та імпорту корисних копалин системно. Такий системний, комплексний розгляд кількісно-якісних показників видобування корисних копалин у поєднанні з економічними наразі не застосовувався.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка системного підходу до управління видобутком, використанням, експортом та імпортом корисних копалин на основі економічних параметрів розвитку кон'юнктури світового та вітчизняного ринку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Україна володіє значними мінеральними ресурсами нерудних корисних копалин, які за своїм складом і технологічними властивостями придатні для використання в різних галузях промисловості будівельних матеріалів: цементній, стінових матеріалів із природного каміння, нерудних будово-щебеневих і облицювальних матеріалів, пористих заповнювачів, скляній, цегельно-черепичній, будівельної кераміки тощо. Корисні копалини для будівництва використовуються в різних галузях промисловості.

Відповідно до офіційної класифікації Державної служби геології та надр, наведеної в роботі (*Примушко та ін., 2017*), усі нерудні тверді корисні копалини для будівництва розподіляються на декілька груп залежно від фізико-механічних властивостей і галузі застосування. Виокремлюють такі: 1) група в'язучих будівельних матеріалів (представлена сировиною цементною – мергель, крейда, вапняк, глинисті та крем'яні добавки), сировиною карбонатною (вапняк для випалювання на вапно,

крейда будівельна, мергель будівельний), гіпсом та ангідритом; 2) група кам'яних будівельних матеріалів, представлена каменем будівельним, каменем облицювальним, каменем пиляльним; 3) група легких заповнювачів, представлена керамзитовою сировиною, сировиною перлітовою, сировиною скляною, сировиною цегельно-черепичною, піском будівельним, піщано-гравійними сумішами, сировиною для закладання виїмкового простору, сировиною для виробництва мінеральної вати і волокон, сировиною петрургічною (кам'яноливарною).

Ця стаття присвячена нерудним корисним копалинам для будівництва, а саме: каменю будівельному, піску будівельному та сировині керамзитовій.

Україна має значні запаси гірських порід, придатних для видобутку будівельного каменю (918 родовищ, у тому числі 167 об'єктів обліку будівельного каменю; розробляються 466 родовищ, зокрема 111 об'єктів обліку), будівельних пісків (900 родовищ і проявів, 623 родовища, у тому числі 32 об'єкти обліку (591+32); розробляється 257 родовищ, зокрема 16 об'єктів обліку (241+16) та керамзитової сировини (53 родовища, із них 5 комплексних, балансові запаси всіх родовищ становлять: за категоріями А+В+С₁ – 243153,36 тис. м³, за категорією С₂ – 19 454 тис. м³, позабалансові запаси – 255 тис. м³; розробляються 9 родовищ, із них 2 комплексні) (Примушко, 2017).

У статті (Волков та Горошкова, 2018) наведено результати проведених нами досліджень динаміки видобутку каменю будівельного, піску будівельного та сировини керамзитової й доведено, що протягом дослідженого періоду (2004–2016) відбувалося коливання показників як обсягів видобутку, так і темпів їхнього зростання. Було доведено, що ці коливання мають періодичний, циклічний характер, спостерігається кореляція між показниками, вони віддзеркалюють малі цикли економічного розвитку, тривалість яких становить 4–5 років. З метою створення системи раціонального управління запасами корисних копалин нами запропоновано економіко-математичну модель, що дозволяє взаємоузгоджувати обсяги видобутку та обсяги використання корисних копалин і прогнозувати зазначені показники.

У запропонованій системі управління раціональним використанням МСБ України додатковим важливим фактором є експорт та імпорт корисних копалин. Це підвищить точність прогнозних оцінок щодо обсягів видобутку та використання корисних копалин.

У статті (Волков та Горошкова, 2018) нами використано класифікацію корисних копалин Державної служби

геології та надр і відповідна офіційна інформація щодо обсягів видобутку каменю будівельного, піску будівельного та сировини керамзитової (Примушко, 2017). Але в офіційній статистичній інформації Держкомстату (Петренко та Лосєва, 2016) використовується інша класифікація і групування корисних копалин. Там наведено інформацію для таких груп копалин: 1) піски природні: а) піски крем'яністі та кварцові; б) піски будівельні, такі як глинисті, каолінові, польовошпатові (крім крем'янистих і металоносних пісків); 2) гранули, щебінь (камінь дроблений) крихта та порошок; галька, гравій: а) галька та гравій, що використовуються як наповнювач бетону для дорожнього покриття та подібних цілей, кремній; б) камінь дроблений (щебінь), який використовується як наповнювач для бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей (крім гальки, гравію та кремнію); в) крихта, гранули та порошок з мармуру; г) крихта, гранули та порошок з травертину, екаусину, граніту, порфіру, базальту, пісковика та іншого каменю. У статистиці зовнішньоекономічної діяльності всі товари, у тому числі й корисні копалини, класифікуються за кодами УКТЗЕД. Ця класифікація не збігається з класифікацією Державної служби геології та надр, а відносно класифікації Держкомстату є більш укрупненою. За кодами УКТЗЕД виокремлюють: 1) піски природні всіх видів, крім групи 26 (код товарної позиції 2505); 2) галька, гравій, щебінь (код товарної позиції 2517). Таким чином, для отримання зіставної інформації та прогнозування з високим рівнем достовірності в подальших дослідженнях буде використана класифікація за кодами УКТЗЕД.

Графічна інтерпретація проведених досліджень наведена на рис. 1, на рис. 2 – темпи зростання обсягів видобутку корисних копалин у натуральному та грошовому вимірі протягом 2011–2015 рр. Аналіз отриманих результатів показав, що обсяги видобутку пісків природних у натуральному вимірі останніми роками зменшувались, обсяги видобутку гранул, щебеню, крихти та порошку зросли в 2012–2013 рр., а в 2015 р. почали зменшуватись. Відповідні темпи зростання обсягів видобутку в натуральному вимірі зменшувались у 2014 р. Отримані результати корелюють з наведеними в нашій статті (Волков та Горошкова, 2018) – максимум у 2011–2012 рр.; мінімум – у 2014–2015 рр., отриманими для піску будівельного та каменю будівельного, які є складовими групи піски природні та гранули, щебінь, крихта та порошок відповідно. Щодо грошового виміру, то, як бачимо, спостерігається зростання цін протягом 2011–2015 рр.

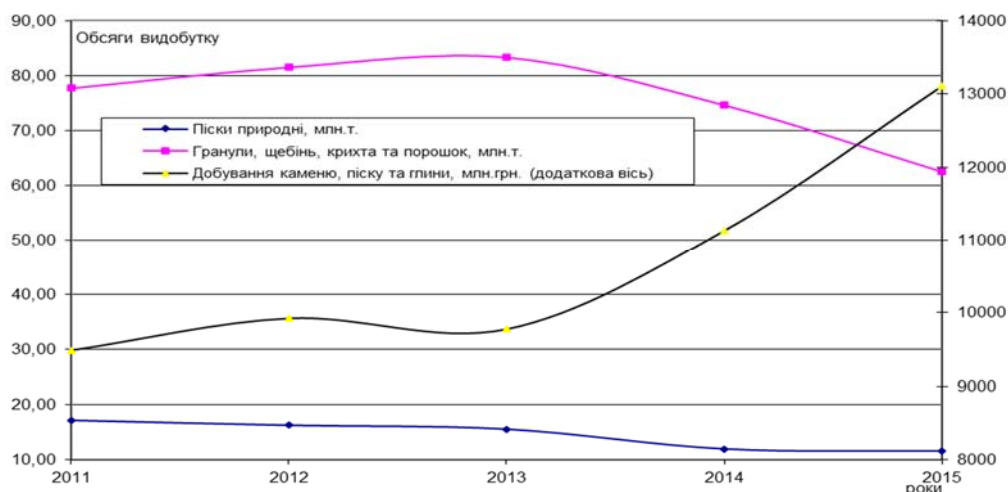


Рис. 1. Динаміка обсягів видобутку пісків природних і гранул, щебеню, крихти, порошку в 2011–2015 рр.

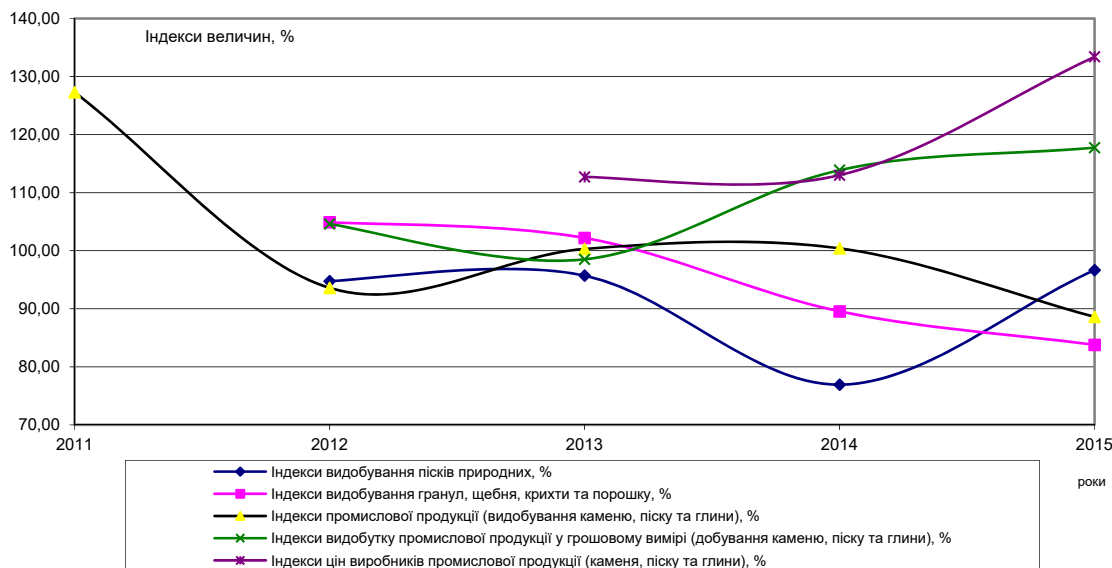


Рис. 2. Динаміка темпів зростання (індекси величин) обсягів видобутку пісків природних; гранул, щебеню, крихти, пороху; видобування каменю, піску та глини (разом); обсягів видобутку у грошовому вимірі (добування каменю, піску та глини) (разом); індекси цін виробників промислової продукції (каменя, піску та глини) у 2011–2015 рр.

У табл. 1 наведено результати аналізу експортно-імпортних операцій щодо пісків природних. Як бачимо, протягом 2011–2017 рр. зменшувались як обсяги імпорту, так і експорту. Експортні ціни на пісок природний впродовж досліджуваного періоду знижувались із 27,81 дол США за тону в 2011 р. до 18,91 дол США за тону в 2017 р. Імпортні ціни також знижувались – із 423,02 дол США за тону у 2011 р. до 248,78 дол США за тону в 2017 р. Порівняння експортних та імпортних цін на пісок природний дозволяє дійти висновку про їхню суттєву відмінність. На нашу думку, це пов'язано з тим, що код товарної позиції 2505 включає низку видів піску, ціни на які суттєво відрізняються. Можливо передбачити, що високі імпортні ціни пов'язані з тим, що експортується

в основному пісок будівельний (дешевший), а імпортується – кварцовий (дорожчий).

Отримані результати свідчать про те, що частка експорту піску природного становить 3–5 % від обсягів його видобутку в країні.

У табл. 2 наведено результати аналізу показників експортно-імпортних операцій щодо гальки, гравію, щебеню. Як бачимо, протягом 2011–2017 рр. обсяги суттєво не змінювались і коливались у межах 191,194 тис. т (2013) до 242,999 тис. т (2017). Щодо експорту, то його обсяги суттєво знизились – від 25649,409 тис. т (2013) до 6837,259 тис. т (2016). У 2017 р. обсяги експорту збільшились до 334,154 тис. т.

Таблиця 1

Динаміка показників експорту та імпорту пісків природних (код товарної позиції 2505)

Роки	Обсяг видобутку, млн т	Обсяг імпорту, тис. т	Вартість імпорту, тис. дол США	Ціна імпорту, дол США за тону	Обсяг експорту, тис. т	Вартість експорту, тис. дол США	Ціна експорту, дол США за тону	Частка експорту в загальному обсязі імпорту, %
2011	17,200	4,371	1849,000	423,015	798,340	22202,000	27,810	4,642
2012	16,300	3,500	1604,000	458,286	829,391	29927,000	36,083	5,088
2013	15,600	3,116	1264,000	405,648	702,802	25142,000	35,774	4,505
2014	12,000	2,417	879,000	363,674	488,089	15391,000	31,533	4,067
2015	11,600	2,328	665,000	285,653	361,041	7360,000	20,385	3,112
2016		2,542	760,000	298,977	287,374	6080,000	21,157	
2017		3,473	864,000	248,776	334,154	6327,000	18,934	

Таблиця 2

Динаміка показників експорту та імпорту гальки, гравію, щебеню (код товарної позиції 2517)

Роки	Обсяг видобутку, млн т	Обсяг імпорту, тис. т	Вартість імпорту, тис. дол США	Ціна імпорту, дол США за тону	Обсяг експорту, тис. т	Вартість експорту, тис. дол США	Ціна експорту, дол США за тону	Частка експорту в загальному обсязі імпорту, %
2011	77,70	232,010	16254,000	70,057	19598,586	266177,000	13,581	25,2234
2012	81,50	225,207	18586,000	82,529	23873,587	312964,000	13,109	29,2927
2013	83,30	191,194	17291,000	90,437	25649,409	322987,000	12,592	30,7916
2014	74,60	204,381	17265,000	84,475	23560,839	256501,000	10,887	31,5829
2015	62,50	201,916	13947,000	69,073	13016,790	82490,000	6,337	20,8269
2016		174,046	13682,000	78,611	6837,259	39523,000	5,781	
2017		242,999	14187,000	58,383	8647,111	52112,000	6,027	

Експортні ціни гальки, гравію, щебеню протягом досліджуваного періоду знижувались із 13,582 дол США за тону в 2011 р. до 5,783 дол США за тону в 2016 р. У

2017 р. експортні ціни незначно збільшились до 6,027 дол США за тону. Імпортні ціни в 2011–2013 рр. підвищувались і становили в 2013 р. 90,437 дол. США за

тонну. Упродовж 2014–2017 рр. ціни знижувались і становили 58,383 дол США за тону в 2017 р.

Порівняння експортних та імпорتنих цін гальки, гравію, щебеню свідчить, що імпорتنі ціни змінюються несуттєво, тоді як експортні – знизились практично у два рази. Крім того, звертає на себе увагу той факт, що експортні ціни практично в 10 разів нижчі за імпорتنі. Аналіз даних табл. 2 показує, що частка експорту гальки, гравію та щебеню становить 20–30 % від обсягів його видобутку в країні. Таким чином, суттєва частина ресурсів експортується в умовах від'ємної цінової кон'юнктури зовнішнього ринку (високі ціни імпорту та низькі ціни експорту). Порівняння цінової ситуації на зовнішньому та внутрішньому ринку свідчить про те, що на відміну від зниження цін на експорт протягом 2013–2015 рр. суттєво (майже на 20 %) зросли внутрішні ціни виробників каменю, піску та глини (рис. 2). На нашу думку, такий підхід до формування експортних потоків щодо корисних копалин є неприпустимим, оскільки він створює загрозу для фінансового стану добувної галузі та країни загалом.

У табл. 3 наведено результати аналізу географічної структури експорту та імпорту гальки, гравію, щебеню (2517) та пісків природних (2505). Як бачимо, протягом 2011–2017 рр. коло країн, у які здійснюється експорт та імпорт, залишається практично незмінним. Так, галька, гравій та щебінь імпортується із Туреччини (40–60 %) і Республіки Білорусь (15–18 %). Україна експортує найбільшу частку гравію, гальки та щебеню в Російську Федерацію (85–90 %), однак останніми роками частка зменшилась до 32–42 %. На другому місці Республіка Білорусь і Польща, однак з 2015 р. частка експорту в Республіку Білорусь зросла із 3

% до 60,77 % (у 2017 р.). Одночасно в 2017 р. зменшився експорт до Російської Федерації до 32,8 %. Щодо пісків природних, то вони імпортуються з Польщі (44–67 %) та Німеччини (20–30 %). Україна експортує найбільшу частку пісків природних до Російської Федерації (50–70 %) та Республіки Білорусь (30–40 %).

Таким чином, проведений аналіз показав, що як піски природні, так і галька, гравій та щебінь експортуються в основному до Російської Федерації та Республіки Білорусь. Як зазначено вище, експортні ціни є значно нижчими, ніж імпорتنі. Основними імпортерами гальки, гравію та щебеню є Туреччина і Республіка Білорусь, пісків природних – Польща і Німеччина. Різниця імпорتنих та експортних цін на пісок природний нами пояснена тим, що імпортується в основному кварцовий пісок, а експортується – будівельний.

Отримані результати свідчать про те, що вітчизняний експорт аналізованих корисних копалин для будівництва є недостатньо економічно ефективним, оскільки ціна на експортовані ресурси є занадто низькою. Крім того, звертає на себе увагу той факт, що в Республіці Білорусь дійсно є потреба в імпорті гальки, гравію та щебеню для задоволення власних потреб, а Російська Федерація має власні суттєві запаси цих корисних копалин. Вважаємо, що позиція Російської Федерації пов'язана з намаганням використовувати МСР інших країн і більш ощадливо ставитись до власних. Аналогічна ситуація щодо сировинних ресурсів відома в металургії. Світові лідери металургійного виробництва вже протягом 20 років віддають перевагу імпорту сировинних складових, це руди та коксівне вугілля, не використовуючи власні поклади.

Таблиця 3

Географічна структура експорту та імпорту пісків природних і гальки, гравію, щебеню

Роки	Галька, гравій, щебінь (2517)				Піски природні (2505)			
	імпорт		експорт		імпорт		експорт	
	Країна	Питома вага, %	Країна	Питома вага, %	Країна	Питома вага, %	Країна	Питома вага, %
2011	Туреччина	58,62	Російська Федерація	85,17	Польща	44,78	Російська Федерація	68,40
	Республіка Білорусь	17,42	Польща	7,47	Німеччина	30,94	Республіка Білорусь	27,07
	Російська Федерація	10,16	Республіка Білорусь	5,16	Нідерланди	6,00	Республіка Молдова	1,84
	Інші	13,80	Інші	2,20	Інші	18,28	Інші	2,68
2012	Туреччина	64,00	Російська Федерація	92,65	Польща	47,76	Російська Федерація	61,87
	Республіка Білорусь	16,52	Республіка Білорусь	3,05	Литва	15,84	Республіка Білорусь	35,34
	Російська Федерація	7,86	Польща	2,13	Німеччина	8,60	Туркменістан	1,27
	Інші	11,63	Інші	2,17	Інші	27,81	Інші	1,52
2013	Туреччина	58,44	Російська Федерація	90,94	Польща	48,85	Російська Федерація	61,68
	Республіка Білорусь	14,92	Республіка Білорусь	5,03	Німеччина	20,27	Республіка Білорусь	36,90
	Чехія	7,77	Литва	1,86	Австрія	6,73	Республіка Молдова	0,74
	Інші	18,87	Інші	2,16	Інші	24,15	Інші	0,68
2014	Туреччина	60,83	Російська Федерація	92,17	Польща	57,86	Російська Федерація	60,73
	Республіка Білорусь	17,97	Білорусь	3,94	Німеччина	20,73	Республіка Білорусь	36,72
	Чехія	7,59	Литва	2,23	Китай	5,58	Польща	0,83
	Інші	13,61	Інші	1,65	Інші	15,83	Інші	1,72
2015	Туреччина	54,32	Російська Федерація	84,55	Польща	64,61	Російська Федерація	59,05
	Республіка Білорусь	18,92	Республіка Білорусь	10,27	Німеччина	20,33	Республіка Білорусь	37,96
	Чехія	8,10	Польща	2,76	Китай	2,26	Республіка Молдова	0,73
	Інші	18,66	Інші	2,42	Інші	12,80	Інші	2,26
2016	Туреччина	55,09	Російська Федерація	46,95	Польща	67,76	Російська Федерація	51,23
	Республіка Білорусь	13,63	Республіка Білорусь	42,67	Німеччина	19,87	Республіка Білорусь	43,13
	Греція	8,23	Польща	6,41	Китай	2,50	Узбекистан	1,56
	Інші	23,05	Інші	3,97	Інші	9,87	Інші	4,08
2017	Туреччина	49,01	Білорусь	60,77	Польща	60,76	Російська Федерація	68,24
	Республіка Білорусь	12,84	Російська Федерація	32,80	Німеччина	17,01	Республіка Білорусь	29,74
	Греція	9,90	Польща	4,83	Чехія	5,09	Республіка Молдова	0,46
	Інші	28,25	Інші	1,60	Інші	17,13	Інші	1,56

З урахуванням того, що під загрозою перебуває виконання Загальнодержавної програми розвитку МСБ України на період до 2030 р. внаслідок постійного

недофінансування геологорозвідувальних робіт, кошти, отримані від експортних операцій, можуть бути використані для її фінансування. Але слід звернути увагу на те,

що основними завданнями програми є відтворення та приріст запасів корисних копалин, і вирішити ці важливі завдання можливо не тільки шляхом проведення геологорозвідувальних робіт, а перш за все шляхом створення умов для більш раціонального видобутку та використання мінерально-сировинної бази країни. На нашу думку, вичерпність корисних копалин і неефективні експортні операції створюють загрозу ресурсній складовій безпеки держави.

Особливої уваги набуває проблема раціонального використання ресурсів в умовах децентралізації управління та реформування адміністративно-територіального устрою країни. Нами неодноразово зверталась увага на важливість ресурсної складової розвитку як країни, так і територіальних громад та їхніх об'єднань. Саме забезпеченість ресурсами, у тому числі мінерально-сировинними, є додатковим пріоритетом щодо створення умов сталого розвитку громад, оскільки наявність корисних копалин на території громади забезпечує можливість отримання доходу від їхньої розробки (податкові надходження до бюджетів територіальних громад). Таким чином, наявність мінерально-сировинних ресурсів, їхній раціональний видобуток і використання є запорукою стабільного і збалансованого економічного розвитку країни та її територій.

Висновки і рекомендації. У результаті проведених досліджень сформовано системний підхід до управління видобутком, використанням, експортом та імпортом нерудних корисних копалин для будівництва з урахуванням економічних параметрів розвитку кон'юнктури світового та вітчизняного ринку.

Проведений аналіз показав, що класифікації корисних копалин, які використовуються Державною службою геології та надр, Держкомстатом України та статистики зовнішньоекономічної діяльності – кодами УКТЗЕД – не збігаються, що ускладнює процес дослідження з використанням різних офіційних джерел.

У результаті аналізу показників динаміки видобутку корисних копалин у натуральному та вартісному вимірі встановлений їхній незбіг. Аналіз отриманих результатів показав, що обсяги видобутку досліджуваних показників у натуральному вимірі мали циклічний, періодичний характер, у грошовому вимірі спостерігалось зростання показників.

Також був проведений аналіз динаміки і географічної структури експортно-імпортних операцій з піском природним, галькою, гравієм і щебенем. Щодо піску природного, то впродовж 2011–2017 рр. зменшувались як обсяги імпорту, так і експорту. Обсяги імпорту гальки, гравію та щебеню суттєво не змінювались, тоді як обсяги експорту знижувались і зросли тільки в 2017 р. У результаті порівняння експортних та імпортних цін на гальку, гравій, щебінь встановлено, що імпортні ціни змінювались несуттєво, тоді як експортні знизились практично у два рази. В абсолютному вимірі експортні ціни в 10 разів нижчі за імпортні. Встановлено, що протягом аналізованого періоду внутрішні ціни зросли на 20 %. Отримані результати дозволили дійти висновку, що підхід до формування експортних потоків щодо корисних копалин є збитковим, оскільки він створює загрозу для фінансового стану добувної галузі та країни. Аналіз географічної структури експорту та імпорту пісків природних і гальки, гравію, щебеню показав, що експортуються корисні копалини в основному до Російської Федерації та Республіки Білорусь, основними імпортерами гальки, гравію та щебеню є Туреччина і Республіка Білорусь, пісків природних – Польща і Німеччина.

Запропоновано використання системного підходу до раціонального видобутку, використання мінерально-си-

ровинної бази країни з одночасним урахуванням експортно-імпортних потоків і цінової кон'юнктури зовнішнього та внутрішнього ринків з урахуванням ресурсної складової безпеки держави.

Подальших досліджень потребує проблема оптимізації видобутку і використання корисних копалин та їхнього впливу на розвиток територій та добробут територіальних громад.

Список використаних джерел

- Бодюк, А.В. (2013). Економіко-ресурсний аспект досліджень корисних копалин. Формування ринкових відносин в Україні, 12(151), 176-179.
- Волков, В.П., Горошкова, Л.А. (2018). Управління раціональним видобуванням та використанням мінерально-сировинних ресурсів України. Вісник Київського національного університету. Геологія, 82 (3), 60-65.
- Довгий, С.О., Шестопапов, В.М., Коржнев, М.М. та ін. (2007). Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. К.: Наукова думка.
- Закон України. (2012). "Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року". №4731-VI від 17.05.2012 р. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 44, 457.
- Коржнев, М.М., Михайлов, В.А., Міщенко, В.С. та ін. (2006). Основи економічної геології. Навчальний посібник. К.: Логос.
- Костенко, М.М. (2014). Мінерально-сировинна база України. Стаття 3. Стан мінерально-сировинної бази неметалічних корисних копалин України та основні напрями геологорозвідувальних робіт. Мінеральні ресурси України, 4, 6-13.
- Криворученко, М.Ю. (2015). Аналіз впливу ресурсної орієнтованості експортної та імпортної складових економіки на рівень міжнародної диференціації соціально-економічного розвитку України. Бізнес Інформ, 8, 90-101.
- Криворученко, М.Ю. (2015). Ресурсна орієнтованість експорту та імпорту як фактор соціально-економічного розвитку регіонів України. Бізнес Інформ, 9, 112-122.
- Лисенко, О.А., Василенко, А.П., Костенко, М.М. (2017). Геологія рудних і нерудних корисних копалин – важливий напрям наукових досліджень Українського державного геологорозвідувального інституту. Збірник наукових праць УкрДГРІ, 1-2, 20-32.
- Лисенко, О.А. (2017). Геолого-економічна оцінка корисних копалин (актуальні питання й методичні аспекти). Мінеральні ресурси України, 3, 22-26.
- Лустьок, М.Г., Дякон, В.М., Петрина, М.Л. (2013). Математична модель оцінки запасів корисних копалин. Науковий вісник НГУ, 5, 5-10.
- Михайлов, В.А., Віноградов, Г.Ф., Курило, М.В. та ін. (2007). Неметалічні корисні копалини України: Підручник. К.: ВПЦ "Київський університет".
- Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин. (н.д.). Постанова КМУ України від 22.12.1994 р., №865 (зі змінами і доповненнями, внесеними постановою КМУ від 27.08.1997 р. № 927, від 04.10.2000 № 1512, від 25.10.2002 № 1595). Отримано із <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF>
- Примушко, С.І., Білошапська, Т.Д., Величко, В.Ф. (2017). Мінеральні ресурси України. К.: ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України".
- Петренко, І.С., Лосева, Ю.М. (2016). Статистичний збірник: Промисловість України у 2011 – 2015 рр. Державний комітет статистики України. К.: Укрстат.
- Харчук, О., Аділан, В. (2016). Деякі аспекти розвитку добувної промисловості і розроблення кар'єрів в Україні та збільшення їх частки експорту до Європейського Союзу. Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія Економіка і управління, 36, 265–272.

References

- Bodiuk, A.B. (2013). Economical-recourse aspect of researches of minerals. Forming of market relations in Ukraine, 12 (151), 176–179. [in Ukrainian]
- Dovhyi, O.V., Shestopalov, V.M., Korzhnev, M.M. et al. (2007). Restructuring of raw mineral-material base of Ukraine and her dataware. K.: Naukova dumka. [in Ukrainian]
- Kharchuk O., Adilan V. (2016). Some aspects of development of extractive industry and working quarry and increase of their stake of export in Ukraine to the European Union. Collection of scientific works of DETUT. Series Economy and management, 36, 265–272. [in Ukrainian]
- Korzhnev, M.M., Mykhailov, V.A., Mischenko, B.S. et al. (2006). Bases of economic geology: The manual for the students of geological specialties of higher educational institutions. K.: Logos. [in Ukrainian]
- Kostenko, M.M. (2014). A raw Mineral-material base of Ukraine. Article 3. State of raw mineral-material base of non-metal minerals of Ukraine and basic directions of geological survey works. Mineral resources of Ukraine, 4, 6–13. [in Ukrainian]
- Kryvoruchenko, M.Yu. (2015). Resource oriented of export and import as factor of socio-economic development of regions of Ukraine. Business Inform, 9, 112–122. [in Ukrainian]
- Kryvoruchenko, M.Yu. (2015). Analysis of influence of resource oriented of export and imported constituents of economy on the level of international differentiation of socio-economic development of Ukraine. Business Inform, 8, 90–101. [in Ukrainian]

Law of Ukraine. (2012). "On claim of the National program of development of raw mineral-material base of Ukraine on a period to 2030". № 4731-VI from 17.05.2012 (2011). List of Supreme Soviet of Ukraine, 44, 457. [in Ukrainian]

Lustiuk, M.H., Diakon, V.M., Petryna, M.L., Lustiuk M.H. (2013). Mathematical model of estimation of supplies of minerals. Scientific announer NGU, 5, 5–10. [in Ukrainian]

Lysenko, O.A. (2017). Geology–economical estimation of minerals (pressing questions and methodical aspects). Mineral resources of Ukraine, 3, 22–26. [in Ukrainian]

Lysenko, O.A., Vasylenko, A.P., Kostenko, M.M. (2017). Geology of ore and non-metallic minerals is important direction of scientific researches of the Ukrainian state geological survey institute. Collection of scientific works of UkrSGRI, 1–2, 20–32. [in Ukrainian]

Mykhailov, V.A., Vinogradov, H.F., Kurilo, M.V. et al. (2007). Industrial minerals and rocks of Ukraine. The manual for the students of geological

specialties of higher educational institutions. K.: VS of the Kyiv University. [in Ukrainian]

Petrenko, I.S., Losyeva, YU.M. (2016). Statistical publication: industry of Ukraine 2011–2015. [in Ukrainian]

Prymushko, S.I., Biloshapskoi, T.D., Velychka, V.F. (Eds.). (2017). Mineral resources of Ukraine. K.: State scientific and production enterprise the "State informative geological fund of Ukraine". [in Ukrainian]

Regulations on State examination and evaluation of mineral recourse. (n.d.). Postanova KМУ Ukraine from 22.12.1994, №865 (with changes and additions brought in by resolution of KМУ from 27.08.1997 № 927, from 04.10.2000 № 1512, from 25.10.2002 № 1595). Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF> [in Ukrainian]

Volkov, V.P., Horoshkova, L.A. (2018). Management of lean mining and use of mineral resources of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 82 (3), 60–65. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 17.06.18

V. Volkov, Dr. Sci. (Techn.), Prof.,
E-mail: volkovvp49@gmail.com
L. Horoshkova, Dr. Sci. (Econ.), Prof.,
E-mail: goroshkova69@gmail.com
Zaporizhzhya National University
66 Zhukovskogo Str., Zaporizhzhya, 69600, Ukraine

PROBLEMS OF EXPORT-IMPORT OPERATIONS ACCOUNTING IN UKRAINE'S EXTRACTION FIELD

The article develops a systematic approach to the management of mining, using, export and import non-metallic minerals for construction considering the economic parameters of the development of the world market situation and the domestic market.

The analysis showed that the classification of minerals used by the Public Service Geology and Mineral Resources of Ukraine, the State Statistics Committee of Ukraine and Statistics of foreign economic activity - codes UKTZED - do not coincide that complicates the study process using these official sources.

According to the results of the conducted researches, the indicators of the dynamics of minerals production in their natural and costly dimensions have been found to be inadequate. An analysis of dynamics and geographic structure of export-import operations was also conducted with natural sand, pebbles, gravel and breakstone. The obtained results allowed us to conclude that the approach to formation of export minerals' flows is not rational, because it poses a threat to the financial state of the mining industry and the country. An analysis of the geographical structure of the export and import of natural sand, pebbles, gravel and breakstone allowed proposing the use of a systematic approach to rational extraction, the use of the country's mineral resources base, while taking into account export-import flows and the price conditions of the external and internal markets and taking into account the resource component of state security.

Keywords: mineral and raw materials base, nonmetallic minerals for construction, building stone, sand, expanded clay, forecasting, modeling, management.

В. Волков, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: volkovvp49@gmail.com,
Л. Горошкова, д-р экон. наук, проф.,
E-mail: goroshkova69@gmail.com
Запорожский национальный университет
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина

ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ЭКСПОРТНО-ИМПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ

Сформирован системный подход к управлению добычей, использованием, экспортом и импортом нерудных полезных ископаемых для строительства с учетом экономических параметров развития конъюнктуры мирового и отечественного рынка.

Проведенный анализ показал, что классификации полезных ископаемых, используемые Государственной службой геологии и недр, Госкомстатом Украины и статистики внешнеэкономической деятельности – кодами УКТЗЕД – не совпадают, что усложняет процесс исследования с использованием данных официальных источников.

По результатам проведенных исследований показателей динамики добычи полезных ископаемых в натуральном и стоимостном измерении установлено их несоответствие. Также был проведен анализ динамики и географической структуры экспортно-импортных операций с песком природным, галькой, гравием и щебнем. Полученные результаты позволили прийти к выводу, что подход к формированию экспортных потоков полезных ископаемых является нерациональным, поскольку создает угрозу для финансового состояния добывающей отрасли и страны. Проведен анализ географической структуры экспорта и импорта песков природных и гальки, гравия, щебня, в результате которого предложено использование системного подхода к рациональной добыче, использованию минерально-сырьевой базы страны, с одновременным учетом экспортно-импортных потоков и ценовой конъюнктуры внешнего и внутреннего рынков и учетом ресурсной составляющей безопасности государства.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, нерудные полезные ископаемые для строительства, строительный камень, песок, керамзитовое сырье, прогнозирование, моделирование, управление.

УДК 553.041

А. Балєга, асп.,
E-mail: a_balega@ukr.net
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

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

ІНСТИТУЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ НАДР: НАЦІОНАЛЬНИЙ ВИМІР І МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

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

Розглянуто національний вимір інституційного забезпечення вивчення та використання надр. Визначено суб'єкти взаємодії у сфері надрокористування і показано механізм такої взаємодії. Досліджено інституційну структуру управління та реалізації політики у сфері вивчення і використання надр. Виходячи з аналізу діючої нормативно-правової бази України та функціонального призначення, інституційне забезпечення вивчення та використання надр доцільно розподілити на три блоки впливу: інституції загальної компетенції, міжгалузеві інституції спеціальної компетенції та галузеві інституції спеціальної компетенції. До інституцій загальної компетенції віднесено законодавчо та нормативно утворюючи та локально виконавчі інституції; до міжгалузевих інституцій спеціальної компетенції – інституції моніторингу, контролю та безпеки, поресурсового управління та нагляду, фінансово-економічного регулювання, науково-освітнього супроводу; до галузевих інституцій спеціальної компетенції – інституції надвідомчого та галузевого управління, формування мінерально-сировинної бази (далі – МСБ), видобутку та реалізації корисних копалин.

Визначено роль Державної служби геології та надр України (далі – Держгеонадр) у системі інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр. Систематизовано структуру апарату управління Держгеонадр як центрального органу виконавчої влади у сфері надрокористування і визначено основні функції та напрями діяльності. Виявлено, що державне фінансування заходів з розвитку МСБ відбувається через систему підприємств та організацій, що належать до сфери управління Держгеонадр.

Для пошуку оптимальної моделі інституційного забезпечення геологічного вивчення і використання надр в Україні було проведено аналіз діючих систем організації та управління у сфері надрокористування таких країн Європейського союзу, економічний та промисловий розвиток яких, залежить від імпорту корисних копалин – Німеччини і Польщі та навпаки забезпеченої в мінеральних ресурсах і досить розвинутої у сфері геологічного вивчення надр і видобутку корисних копалин країни – експортеру Австралії. У процесі такого аналізу було виявлено як ряд типових, так і ряд відмінних функцій для геологічних служб зазначених вище країн. Ураховуючи зарубіжний досвід, структуру вітчизняної геологічної служби та напрями її діяльності, що закріплені законодавчо, можна зробити висновок, що Державна служба геології та надр України не забезпечує ряд ключових і прогресивних функцій у сфері геологічного вивчення і використання надр, таких як: моніторинг кон'юнктури ринків мінеральних ресурсів, популяризація мінерально-сировинного комплексу та забезпечення проведення робіт із залучення інвестицій в розвиток МСБ. Для впровадження зарубіжного досвіду в частині активізації привабливості мінерально-сировинного комплексу України та розвитку мінерально-сировинної бази доцільно переглянути завдання та функції, що покладені в основу структури Держгеонадр України, доповнивши їх указаними вище з відповідним внесенням змін до структури Держгеонадра. Дослідження досвіду функціонального призначення та ролі геологічних служб Австралії та Німеччини засвідчує ефективність і дієвість широких повноважень регіональних (місцевих) органів влади щодо розвитку МСБ. Оскільки в Україні не завершено процес децентралізації, досвід у частині надання широких повноважень місцевим органам самоуправління щодо розвитку МС, не може бути запроваджено.

Ключові слова: геологічне вивчення, інституційне забезпечення, структура геологічної галузі, використання надр, міжнародний досвід.

Постановка проблеми. Ефективність функціонування будь-якої галузі залежить від організаційно-правової форми інституцій, що її утворюють, розподілу функцій та завдань у межах повноважень кожної з інституцій і позиціонування інституцій як складової системи, що утворює галузь. Ураховуючи, що за роки незалежності українська геологічна служба як ключова інституція геологічної галузі неодноразово зазнавала структурних змін – від Державного Комітету України по геології та використанню надр до Державної служби геології та надр України, то й інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Україні перебуває в процесі становлення та пошуку ефективної моделі державного управління на принципах збалансованості, результативності, законності, неупередженості, стабільності, прозорості та ефективності. Для пошуку оптимальної моделі державного інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Україні доцільним є вивчення міжнародного досвіду, його зіставлення з вітчизняними умовами надрокористування та виявлення таких структурних змін. Для дослідження організаційно-правових аспектів у сфері геологічного вивчення і використання надр пропонується досвід Польщі та Німеччини, як країн-членів ЄС, економіка та промисловість яких напряму залежить від імпорту корисних копалин, та навпаки – Австралії, як розвинутої країни, сталий економічний розвиток якої, істотно залежить від експорту власної мінеральної сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні дослідженню інституційного забезпечення геологічного вивчення надр присвячено наукові праці М.М. Коржнева, І.Д. Андрієвського, В.С. Міщенко, В.В. Матюхи, М.В. Жикаляка та ін. У публікаціях названих авторів висвітлено загальну систему державного управління надрокористуванням, визначено, що державне управління користування надрами слід розглядати як специфічний вид владної державної діяльності, змістом якої є практична реалізація державних повноважень у визначеній сфері, що спрямована на створення умов для комплексного та раціонального користування надрами і державного контролю за їхньою діяльністю. (Рудько, 2012). Поряд із тим, визначено, що геологічна галузь України об'єднує всі державні й недержавні структури, установи і підприємства, які мають справу з геологічним вивченням території і моніторингом, пов'язаним з надрами, а також підготовкою геологічних кадрів. Також наголошено, що виконання головних завдань Державної служби геології та надр України (ДСГНУ) пов'язане в сучасних умовах з її суттєвою структурною реорганізацією, вона має бути відносно невеликою і необтяженою основними фондами (Довгий, 2007).

Виділення нерозв'язаних раніше частин проблеми. У наукових роботах зазначених вище авторів поняття геологічної галузі переважно більшістю розглядається і досліджується з точки зору державного забезпечення надрокористування, де ключова роль надана Державній службі геології та надр України і практично

не врахована роль інших державних інституцій, бізнес-структур і практично не досліджений досвід інших країн у розбудові ефективної інституційної системи державного управління у сфері надрокористування. Також слід зауважити, що оптимальну систему інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр не досліджено з точки зору джерел фінансування в межах окремих стадій геологорозвідувальних і добувних робіт, що, на думку авторів, є ключовим у розробці ефективної та дієвої системи надрокористування.

Метою дослідження є аналіз інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Україні в контексті функціонального значення кожної інституції в межах окремих стадій геологорозвідувальних і добувних робіт з урахуванням міжнародного досвіду.

Основні результати дослідження. Інституційне забезпечення геологічного вивчення надр реалізується в рамках взаємодії двох суб'єктів держави та надрокористувача в інтересах третього – народу України. Держава, як інституція забезпечує правовий супровід надрокористування, розвиток мінерально-сировинної бази, економічне регулювання, моніторинг та контроль у сфері геологічного вивчення та використання надр; надрокористувачі,

у свою чергу, виступають як безпосередні споживачі геологічної інформації для отримання "геологічного продукту". Слід зауважити, що у сфері геологічного вивчення та використання надр держава виступає посередником та представляє інтереси народу України, виключною власністю якого є надра відповідно до діючої нормативно-правової бази України (*Кодекс України про надра, 1994*).

Предметом взаємодії суб'єктів надрокористування виступають надра, що надаються у користування для геологічного вивчення; видобування корисних копалин; будівництва та експлуатації споруд не пов'язаних з надрокористуванням; створення геологічної території наукового та культурного значення; для виконання робіт, передбачених угодою про розподіл продукції та задоволення інших потреб. У свою чергу, надрокористувач несе фінансові витрати для отримання надр у користування у формі плати за видачу спеціального дозволу на користування надрами, плату за видачу ліцензії на видобування дорогоцінних металів, рентну плату та інші витрати, пов'язані з користуванням надрами (рис. 1).

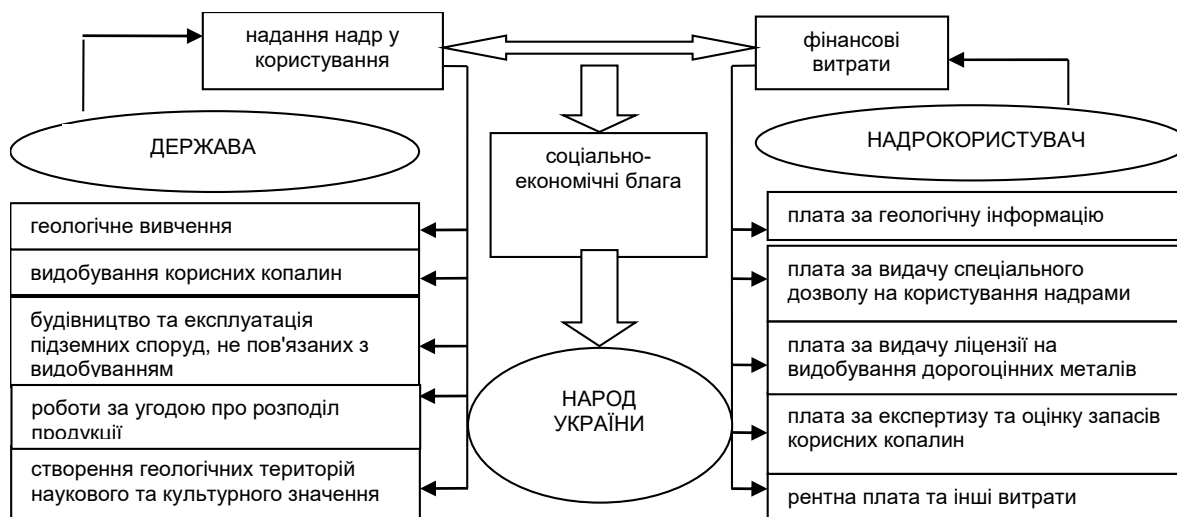


Рис. 1. Механізм взаємодії суб'єктів надрокористування в Україні

Процес взаємодії "надрокористувач – держава – народ України" у межах геологічного вивчення та використання надр забезпечується комплексом державних і недержавних інституцій. Виходячи з аналізу діючої нормативно-правової бази та функціонального призначення, інституційне забезпечення вивчення та використання надр доцільно розділити на три блоки впливу: інституції загальної компетенції, міжгалузеві інституції спеціальної компетенції та галузеві інституції спеціальної компетенції (рис. 2).

Інституції загальної компетенції – це вповноважені органи державної законодавчої та виконавчої влади, на яких покладено разом із функціями загальнодержавного значення у сфері соціально-економічного розвитку держави ще й низку типових функцій законодавчо-регулюючого характеру в межах реалізації державних повноважень для кожної галузі. Такі інституції можливо розглядати за двома напрямками – законодавчі та нормативно-утворюючі (Верховна Рада України, Кабінет Міністрів України) та локально-виконавчі інституції (органи місцевого самоврядування, місцеві органи виконавчої влади). Інституції спеціальної компетенції (галузеві та міжгалузеві) певними авторами (Рудько, 2012) розглядаються як інституції, для яких управління в галузі використання та охорони надр є головним або одним із головних напрямів їхньої діяльності. Таке тлумачення не зовсім відображає специфіку управління геологічною галуззю.

Міжгалузеві інституції спеціальної компетенції слід розглядати як допоміжні інституції, яким притаманне виключне право регулювання в кожній галузі точкових, притаманних тільки їм владних повноважень: бюджетна політика, адміністрування податків і зборів, реалізація політики у сфері освіти та науки, екологічна безпека, поресурсне управління та гірничий нагляд. Галузеві інституції спеціальної компетенції мають специфічні владні повноваження і виконують функції щодо обслуговування виключно геологічної галузі й діяльність яких спрямована на геологічне вивчення і використання надр з метою отримання геологічного продукту. Такими інституціями є Міністерство екології та природних ресурсів, Державна служба геології та надр, виконавці геологорозвідувальних робіт (ГРР) приватного сектора економіки та підвідомчі установи й організації ДСГНУ, гірничодобувні фірми та підприємства.

Галузеве інституційне забезпечення у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр здійснюється Міністерством екології та природних ресурсів через центральний орган виконавчої влади – Державну службу геології та надр України. Керівництво й управління геологічною галуззю забезпечує безпосередньо апарат Державної служби геології та надр України, а виконання завдань, покладених на Держгеонадр, від-

повідно до Положення (*Положення про Державну службу геології та надр України, 2015*), реалізується через

систему державних підприємств та установ, що входять до сфери її управління.



Рис. 2. Інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Україні

Державну службу геології та надр України очолює Голова, що має двох заступників, у тому числі одного першого, які призначаються на посаду та звільняються з посади Кабінетом Міністрів України за поданням Прем'єр-міністра України, внесеним на підставі пропозицій Міністра екології та природних ресурсів.

Відповідно до структури апарат управління Держгеонадр складається з департаментів, управлінь, відділів, секторів і головних спеціалістів, що не входять до зазначених вище структурних підрозділів і функціонують незалежно від них (рис. 3). Умовно можна поділити названі підрозділи на три блоки: загальні підрозділи, що виконують типові адміністративні функції будь-якого органа виконавчої влади; спеціальні підрозділи, що характерні виключно геологічній галузі; окремі головні спеціалісти, що виконують функцію внутрішньої безпеки Держгеонадр як органу виконавчої влади. До загальних структурних підрозділів належать управління економіки та бухгалтерського обліку, юридичне управління, відділ документообігу та контролю, відділ з управління персоналом, сектор організаційно-аналітичного забезпечення та комунікацій. До спеціальних підрозділів доцільно віднести департамент геології, департамент державного геологічного контролю, департамент дозвольної та міжнародної діяльності. Департамент геології складається із чотирьох відділів, на які покладено низку функцій з наукового супроводу ГРП, геологічних і геофізичних досліджень нафти і газу, регулювання питань у сфері гідрогеології, екогеології, рудних і нерудних корисних копалин. Функція державного геологічного контролю реалізується через Департамент державного геологічного контролю, що складається з відділу контролю за геологічним вивченням і використанням надр та шість відділів за міжрегіональною ознакою: центральний, східний, західний, південний, північний, азовсько-чорноморський.

Департамент дозвольної та міжнародної діяльності складається із чотирьох відділів, що забезпечують дотримання законодавства у сфері надання надр у користування, аукціонної діяльності, міжнародного співробітництва, регуляторної політики та взаємодії з правоохоронними органами (*Структура Державної служби геології та надр України, н.д.*). Блок внутрішньої безпеки, що складається з окремих незалежних головних спеціалістів, які не входять до структурних підрозділів Держгеонадр, виконують функції контролю, забезпечення режимно-секретної та мобілізаційної роботи, курують питаннями із запобігання проявів корупції та проведення внутрішнього аудиту.

Виконання функцій Держгеонадр відбувається в межах діяльності державних підприємств та організацій, що належать до сфери її управління. На сьогодні таких підприємств, організацій налічується більше 20 (*Розпорядження про передачу цілісних майнових комплексів, 2011*). Відповідно до чинного законодавства (*Господарський кодекс України, 2003*) названі вище підприємства та організації можна згрупувати за організаційно правовою формою господарювання: державні організації, державні (регіональні) підприємства, казенні підприємства, державні комісії, публічні акціонерні товариства, національні акціонерні компанії, інститути (рис. 4). Такі підприємства та організації забезпечують: систематизацію, архівування та надання геологічної інформації в користування; науковий супровід усіх стадій ГРП, проведення експертно-кошторисної експертизи; сейсмічний та інженерно-геофізичний супровід; регіональне географічне вивчення територій; проведення пошукових і пошуково-оціночних робіт; розвідку та видобуток корисних копалин; регіональний геологічний контроль; державну експертизу та оцінку запасів корисних копалин.

Регіональні геологічні, геофізичні та геологознімальні роботи (I стадія ГРР) у розвинутих країнах здебільшого виконуються державними інституціями та фінансуються з державного та федеральних бюджетів. Пошукові й пошуково-оціночні роботи (II етап ГРР) у розвинутих країнах, як

правило, мають комерційне фінансування, оскільки спрямовані на відкриття та економічну оцінку родовищ корисних копалин. Розвідувальні роботи (III стадія ГРР) виконуються та фінансуються бізнесом і лише для об'єктів, рентабельність яких доведено (Довгий, 2007).

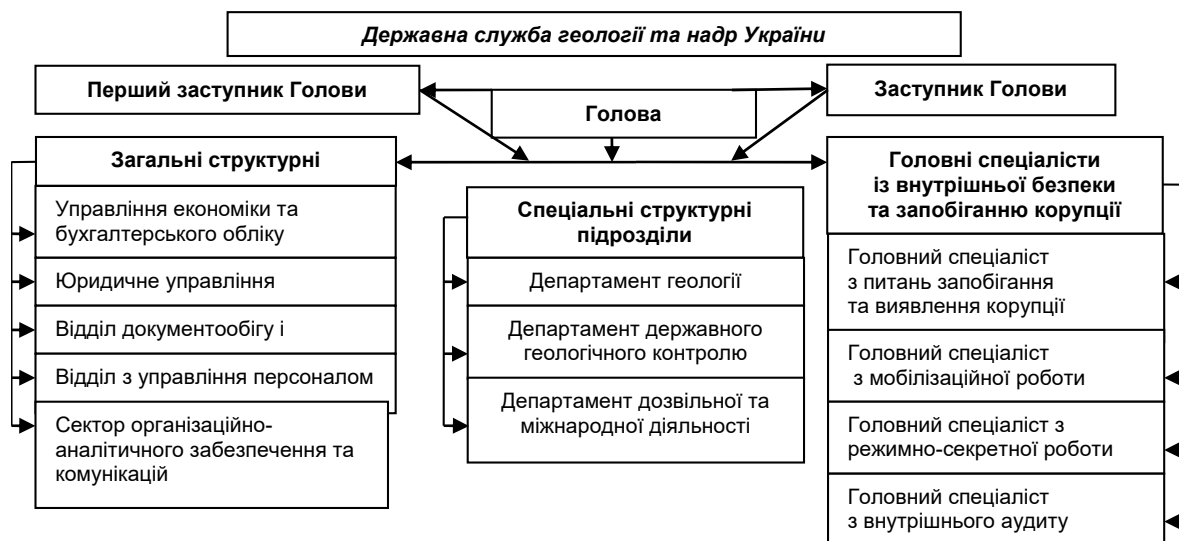


Рис. 3. Структура апарату управління Держгеонадр України



Рис. 4. Система підприємств та організацій, що належать до сфери управління Держгеонадр

В Україні ситуація дещо відмінна від описаної вище. На сьогоднішній день державні інституції в Україні забезпечують виконання всіх трьох стадій геологорозвідувальних робіт від регіонального геологічного вивчення територій, пошуку та пошукової оцінки родовищ корисних копалин до розвідки родовищ корисних копалин (рис. 5). Слід зауважити, що державне фінансування на виконання таких робіт припадає виключно на державні інституції, що належать до сфери управління Держгеонагляд у межах виконання бюджетної програми КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази", хоч відповідно до Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку мінерально-

сировинної бази (Порядок використання коштів..., 2011), виконавцями геологорозвідувальних робіт за цією програмою є спеціалізовані підприємства всіх форм власності. Обсяг фінансування бюджетної програми КПКВ 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази України" в 2018 р. передбачено в розмірі 100,0 млн грн, із них станом на кінець третього кварталу 2018 р. через систему "Державні закупівлі" укладено договорів на виконання геологорозвідувальних робіт з розвитку МСБ на 94,0 млн грн виключно з установами та організаціями державної форми власності, що належать до сфери управління Держгеонагляд: КП "Південукргеологія" на 10,1 млн грн, КП "Кіровгеологія" на 6,1 млн грн, ДРГП

"Донецькгеологія" на 4,7 млн грн, ДРГП "Східне" на 1,8 млн грн, ДРГП "Причорноморське" на 10,3 млн грн, ДП "Укргеофізика" на 19,0 млн грн, ДП "Українська геологічна компанія" на 10,1 млн грн, ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд" на 9,0 млн грн, НАК "Надра України" на 7,7 млн грн, Український державний геологорозвідувальний інститут 10,1 млн грн, територіальні інспекції державного геологічного контролю – 5,1 млн грн. (*Державні закупівлі замовника Державна служба геології та надр, н.д.*).

Орієнтовно розподіливши обсяги фінансування вказаних вище робіт у межах укладених угод за стадіями ГРР, можна зробити висновок, що в 2018 р. держава планує профінансувати роботи за I стадією ГРР "Регіональне геологічне вивчення території" на 12,7 млн грн або на 13,5 % від загального обсягу укладених угод; за II стадією "Пошук та пошукова оцінка родовищ корисних копалин" – на 34,3 млн грн, що становить 36,5 %; за III стадією "Розвідка родовищ корисних копалин" – на

4,3 млн грн, що становить 4,6 %; на позастадійні роботи – 42,7 млн грн, що становить 45,4 %.

Держава, забезпечуючи інституційний та фінансовий супровід II та III стадії ГРР, які є досить дорогавартісними та ризикованими за змістом і отриманням "геологічного продукту", не стимулює, а непрямим чином може блокувати активність недержавних інституцій щодо фінансування та проведення таких робіт.

Для пошуку оптимальної моделі інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Україні необхідно провести аналіз діючих систем організації та управління у сфері надрокористування таких країн Європейського союзу, економічний та промисловий розвиток яких залежить від імпорту корисних копалин – Німеччини та Польщі й навпаки забезпеченої в мінеральних ресурсах і досить розвинутої у сфері геологічного вивчення надр і видобутку корисних копалин країни – експортеру Австралії.

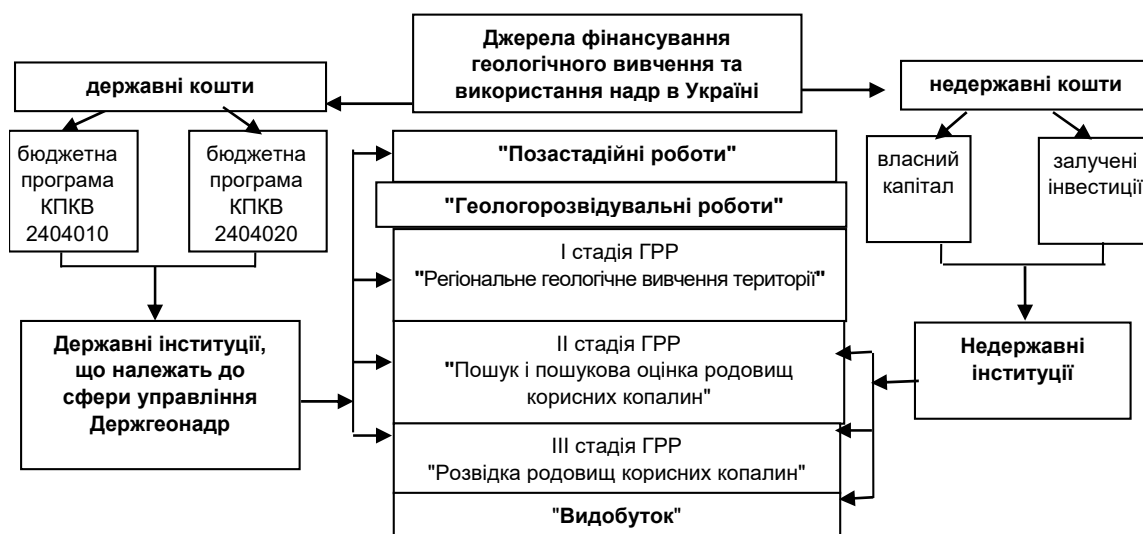


Рис. 5. Фінансове забезпечення геологічне вивчення та використання надр в Україні – інституційно-стадійний аспект

Німеччина виконує роль флагмана економічного розвитку в системі країн ЄС і є одним з найбільших споживачів сировини у всьому світі, особливо мінеральної сировини. Частина такої сировини забезпечується внутрішнім ринком, але недостатність металічних корисних копалин робить Німеччину імпортозалежною. Потужний індустриальний потенціал Німеччини та відсутність необхідних мінеральних ресурсів для його існування і розвитку зумовлюють досить логічно вибудовану систему інституцій геологічного вивчення та використання надр Німеччини.

Особливості адміністративно-територіального ладу Німеччини та нерівномірне залягання (розташування) корисних копалин за регіональною ознакою обумовлюють дворівневу структуру державного забезпечення геологічного вивчення та використання надр у Німеччині (*The Geological Services of the Federal Republic of Germany, n.d.*).

Федеральне інституційне забезпечення у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр у Німеччині здійснюється через Міністерство економіки та енергетики Німеччини (BMWi), яке фінансує діяльність спеціального представника уряду Німеччини з реалізації ініціативи прозорості у видобувній галузі, центрального геолого-наукового органу Федерального інституту геонаук та природних ресурсів (BGR) та інституції надрегіонального значення Інституту прикладної геофізики імені Лейбніца (LIAG) (рис. 6). Слід зауважити, що Федеральний інститут геонаук і природних ресурсів (BGR), Державне відомство гірничодобувної промисловості,

енергетики та геології (LBEG) та Інститут прикладної геофізики імені Лейбніца (LIAG) утворюють організаційний та логістичний альянс GEOZENTRUM HANNOVER, що виступає як сучасний постачальник послуг з незалежної професійної оцінки, якості та надійності в усіх питаннях геології.

Федеральний інститут геонаук і природних ресурсів (BGR) виконує функцію консультанта федерального уряду Німеччини щодо оцінки стану та динаміки ринку енергетичних ресурсів, металічних і неметалічних корисних копалин, змін в їхніх запасах, методах оцінки, розвідки та видобутку з урахуванням затверджених екологічних норм; бере участь у розробці регіональних норм використання підземних вод і поводження з ґрунтами; бере участь в установці федерального обладнання для утилізації радіоактивних відходів; надає консультації уряду щодо безпеки використання підземних сховищ; розробляє спеціалізовану геологічну інформацію (у т. ч. карти); відстежує глобальну активність землетрусів на центральній сейсмологічній обсерваторії ФГГ. Слід зауважити, що до складу BGR входить Німецьке агентство мінеральних ресурсів (DERA), яке виконує роль центральної інформаційно-консультаційної платформи у сфері аналізу та оцінки міжнародних ринків сировини, енергетичних і мінеральних корисних копалин. Дане агентство досліджує ризики, пов'язані з витратами на видобуток, закупівельними цінами та цінами поставки сировини переважно для уряду ФГГ (*Organisation of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, n.d.*).

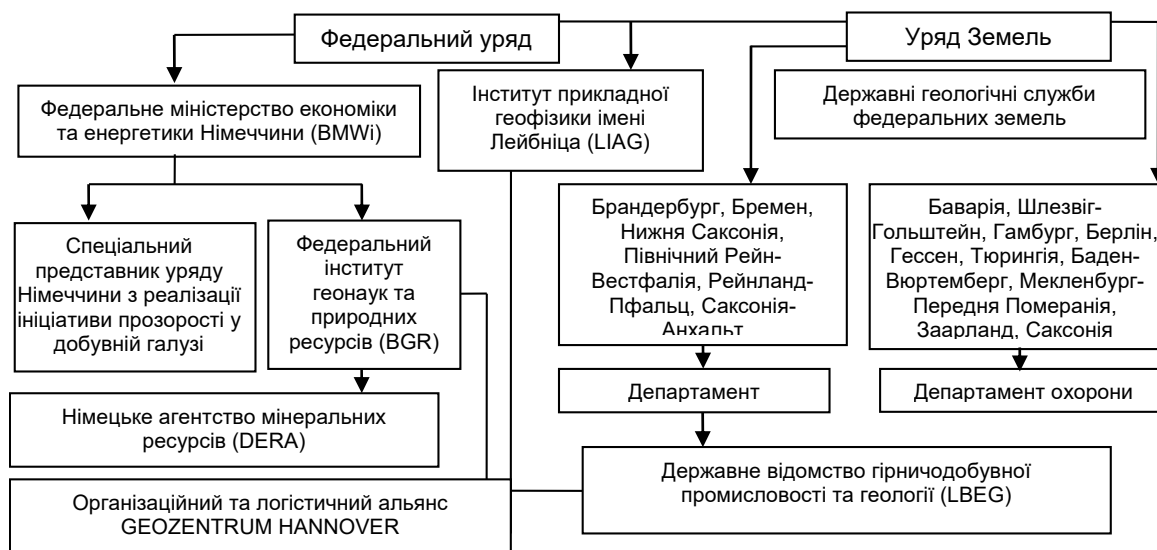


Рис. 6. Державне інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр у Німеччині

Інститут прикладної геофізики імені Лейбніца (LIAG) є незалежним дослідним інститутом, що проводить дослідження в галузі прикладної геофізики для вирішення майбутніх питань суспільного значення, таких як розвідка, використання та захист георесурсів або оцінка георизиків. Даний інститут фінансується спільно федеральним урядом і землями як інститут надрегіонального значення (*Organization Chart of the Leibniz Institute for Applied Geophysics, 2018*).

Інституційне забезпечення геологічного вивчення та раціонального використання надр на регіональному рівні здійснюється геологічними службами Земель у складі Департаменту економіки або Департаменту охорони навколишнього природного середовища. Геологічні служби Земель у складі Департаменту навколишнього природного середовища представлені в 10 Землях: Баварія, Шлезвіг-Гольштейн, Гамбург, Берлін, Гессен, Тюрингія, Баден-Вюртемберг, Мекленбург-Передня Померанія, Заарланд, Саксонія; у складі Департаменту економіки в шести Землях: Брандербург, Бремен, Нижня Саксонія, Північний Рейн-Вестфалія, Рейнланд-Пфальц, Саксонія-Анхальт (рис. 7) (*The Geological Services of the Federal Republic of Germany, n.d.*).

Структура та функції геологічних служб Земель Німеччини залежать від специфіки географічного розташування і від того, чи відбувається видобуток корисних копалин на відповідній території. Якщо такий видобуток відбувається, то геологічна служба даної Землі належить до Департаменту економіки і має специфічну структуру, покликану регулювати гірничі відносини, якщо ж видобуток не відбувається, то геологічна служба таких Земель входить до складу Департаменту охорони НПС і виконує більш геолого-екологічні функції.

Окреме місце в системі державних геологічних служб федеративних земель Німеччини посідає Державне відомство гірничодобувної промисловості, енергетики та геології (LBEG), оскільки воно входить до альянсу GEOZENTRUM HANNOVER і виконує більш урядові функції, які виходять за межі федеративних земель, хоч дане відомство перебуває у статусі федеративного земельного геологічного органа. Основним завданням LBEG є надання адміністративних послуг з дозволу на видобуток корисних копалин, організація гірничого нагляду у сфері видобутку корисних копалин, їхнього транспортування та збереження (*Organisation plan of the State Office for Mining, Energy and Geology of Germany, 2018*).

Підсумовуючи особливості системи державних інституцій геологічного вивчення та використання надр у Німеччині, можна зробити висновок, що дані інституції виконують ряд ключових функцій – інформаційно-науковий супровід, моніторинг кон'юнктури мінерально-сировинної бази та політики країн світу щодо видобутку корисних копалин, сейсмологічний супровід, гірничий нагляд, екологічну безпеку.

Досить цікавим у питаннях державного інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр є досвід Польщі як країни-члена ЄС. Економіка Польщі, як і більшості країн ЄС, залежить від імпорту корисних копалин. Центральним органом виконавчої влади у сфері надрокористування в Польщі є Міністерство навколишнього природного середовища, до складу якого входять два спеціалізовані департаменти у сфері геологічного вивчення та використання надр: департамент геології та геологічних кондицій і департамент геологічного нагляду. Особливе місце для геологічної галузі в системі наукових інститутів Міністерства охорони НПС Польщі посідає Польський геологічний інститут – Національний дослідний інститут геологічної служби Польщі (PIG-PIB). До структури даного інституту входить Геологічна служба Польщі (рис. 8).

Структура Польського геологічного інституту (PIG-PIB) представлена науковою радою, адміністративно-управлінським корпусом, науковим блоком та Геологічною службою. До складу геологічної служби Польщі, як підрозділу PIG-PIB, входять такі відділи: координації геологорозвідвальних робіт, геології та економічної геології, геологічної картографії та регіональних геологічних програм, інженерної геології, гідрогеології та навколишнього середовища, геологічних баз даних, програмного моделювання геологічних процесів, геологічний архів. До складу групи відділів досліджень та розробок, що відповідає за науковий напрям, входять вчений секретар та такі відділи: планування та досліджень, мінеральних ресурсів та енергетичних корисних копалин, відділ регіональної геології, відділ гідрогеології НПС, моделювання геологічних процесів, видавничий (*Organisation Structure of The Polish Geological Institute..., 2018*). Основні функції, що виконує державні інституції геологічного сектору Польщі: науково-інформаційний супровід, геологічний нагляд, екологічна безпека.

Австралійські мінеральні та енергетичні ресурси є основним джерелом економічного та соціального багатства нації. Австралія має значні переваги у виробництві ресурсних товарів над іншими країнами та є лідером-експортером.

Ця перевага обумовлена багатими та різноманітними мінеральними та енергетичними ресурсами, високоякісною геологічною інформацією в регіональному масштабі, що

знижує ризики розвідки, видобутку та переробки, зрозумілою та прозорою законодавчою базою, дієвою системою державного адміністрування у сфері геологічного вивчення та використання надр.



Рис. 7. Державні геологічні служби федеральних земель Німеччини

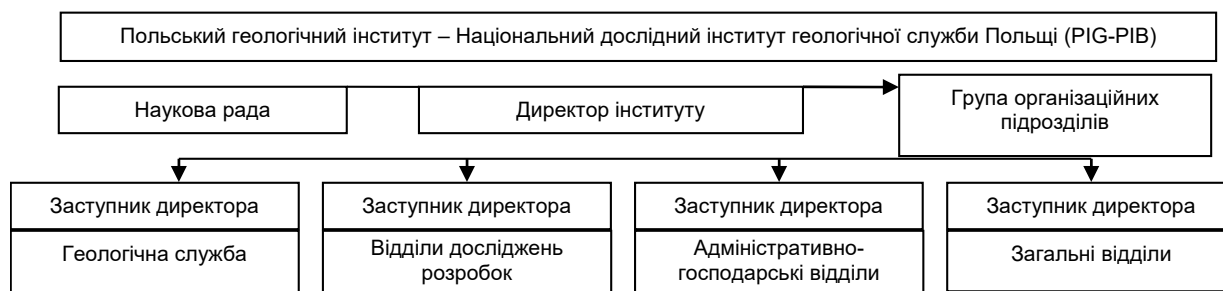


Рис. 8. Організаційна структура Польського геологічного інституту – Національного дослідного інституту геологічної служби Польщі (PIG-PIB)

Державне інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Австралії є дворівневим з врахуванням адміністративно-територіального устрою країни (рис. 9) (*The Geological Services of Australia, n.d.*). Урядовим профільним органом з питань геології та гірничої справи в Австралії є Міністерство (департамент) промисловості, інновацій та науки, діяльність якого, координується Міністром ресурсів Північної Австралії та Міністром промисловості, науки та техніки. Діяльність даного міністерства розподілена за 4 ключовими блоками: наука, інновації, промисловість, геологія (*Organisation Structure of Department of Industry..., n.d.*). Напрямок геологія представляє Geoscience Australia – провідна в Австралії державна наукова геологічна організація, що виступає радником з питань геології та географії Австралії. Дана організація впроваджує наукові знання в геологічне вивчення та використання надр Австралії та має Робочу програму Geoscience Australia, що розрахована на п'ять років у період з 2018 до 2022 р. та складається із шести пріоритетних блоків (табл. 1) (*Стратегічні пріоритетні напрями робочої програми, н.д.*).

Очолює Geoscience Australia головний виконавчий директор, у підпорядкуванні якого перебуває головний вчений та п'ять структурних підрозділів (*Організаційна структура*

Geoscience Australia, 2018). Організаційна структура Geoscience Australia представлена п'ятьма напрямками: напрям ресурсів, який представлений відділом ресурсів, до компетенції якого входять дослідження в галузі енергетичних систем, мінеральних систем, консультації та просування ресурсів; напрям позиціонування та безпеки суспільства, який представлений відділом, до сфери діяльності якого входить безпека суспільства, позиціонування національної інфраструктури, діяльність обсерваторії та їхня наукова підтримка; напрям "екологічна геологія", представлена відділом, що займається питаннями ґрунтів, національними дослідженнями Землі й моря та дослідженнями географічного розташування країни; напрям загального адміністрування очолює головний операційний директор, напрям цифрової науки та інформації очолює головний науковий співробітник з інформаційних технологій, до компетенції якого входить коло питань з адміністрування наукових даних, наукові обчислення, цифрові наукові платформи, інформаційна політика та інформатика (рис. 10). Відповідно до фінансового плану Geoscience Australia уряд Австралії в період з 2018 по 2022 р. планує профінансувати дану організацію на 744455 тис. дол. за результатами надання профільних послуг сама організація

планує залучити 160884 тис. дол при загальних витратах в 952329 тис. дол (*Strategic priority areas Geoscience Australia's work program, n.d.*).

Регіональний рівень інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр забезпечується геологічними підрозділами 7 штатів: геологічна служба Департаменту первинної промисловості та ресурсів (DPIR) уряду Північної території, Геологічна служба Західної Австралії (GSWA), Департаменту з питань гірничорудної промисловості, регулювання промисловості та безпеки (DMIRS), Геологічна служба штату Квінсленд (GSQ), Геологічна служба Південної Австралії (GSSA) Департаменту енергетики та гірничої справи, Департамент промисловості Нового Південного Уельсу, підрозділ у штаті уряду Вікторія, підрозділ мінеральних ресурсів Тасманії Департаменту державного росту (*The Geological Services of Australia, n.d.*)

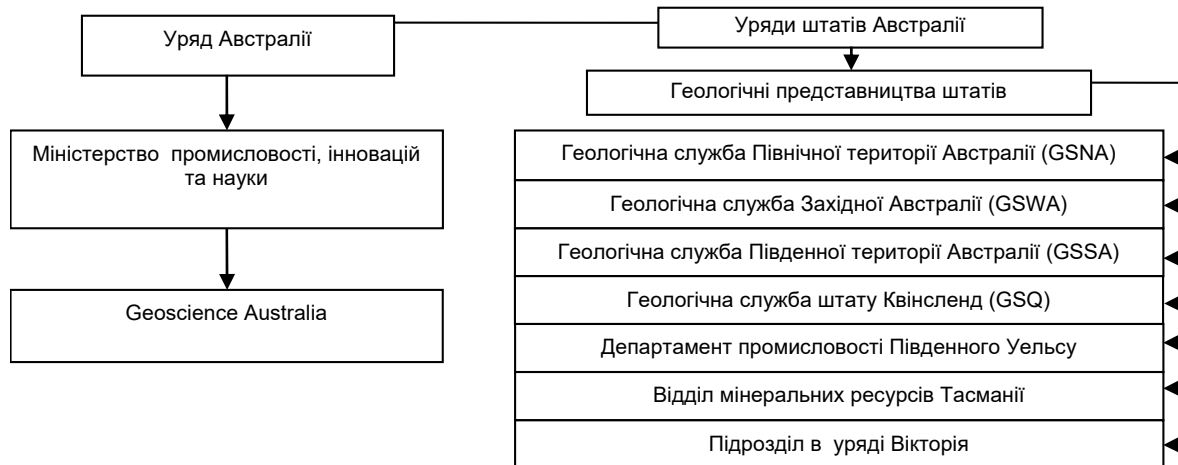


Рис. 9. Державне інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Австралії

Таблиця 1

Структура Робочої програми Geoscience Australia (2018–2022)

№	Стратегічні пріоритетні напрями робочої програми Geoscience Australia	Бажані результати в період 2018–2022 рр.
1	Створення ресурсної заможності Австралії	– підвищення інвестиційної конкурентоспроможності мінеральних та енергетичних ресурсів Австралії; – власне видобування корисних копалин та енергетичних ресурсів через відкриття нових родовищ; – оптимізація споживання ресурсів для розвитку економіки; – створення інституту довіри до управління сектором корисних копалин та енергоресурсів
2	Забезпечення безпеки населення Австралії	– зниження економічних, соціальних та екологічних ризиків унаслідок стихійних лих; – доступність системи моніторингу та раннього сповіщення стихійних лих для підвищення рівня безпеки
3	Забезпечення водними ресурсами	– безперерйна доступність суспільства до ресурсу підземних вод; – упевненість суспільства в екологічності використання підземних вод
4	Управління морською юрисдикцією	– деталізоване картування морського дна океану з метою забезпечення достовірної бази даних для безперерйного управління та використання його морських активів
5	Забезпечення фундаментальною географічною інформацією	– авторитетні джерела національної картографічної інформації, включаючи карти, дані та глобальну навігаційну систему
6	Підтримка знань і можливостей в геонауці	– безперервний процес проведення геофізичних досліджень і збір геологічної інформації; – вільна доступність геофізичних даних і карт як суспільний ресурс для прийняття управлінських рішень

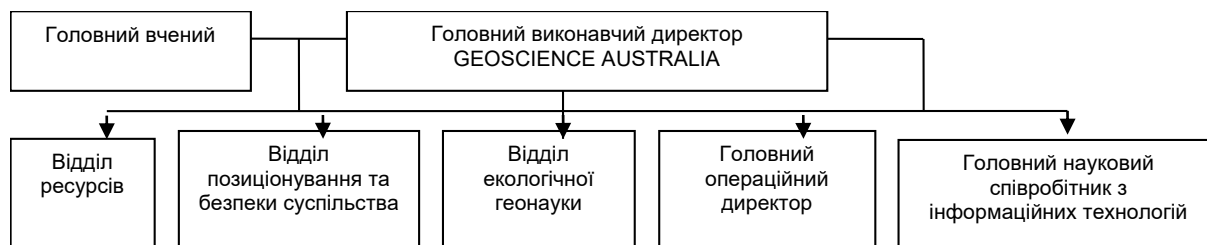


Рис. 10. Організаційна структура Geoscience Australia

Підсумовуючи досвід організації державного інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр в Австралії, можна зробити висновок, що на загальнодержавному рівні уряд Австралії виконує більш представницько-інформаційні функції: розробляє та впроваджує нормативно-правові засади надрокористування, забезпечує дослідження з моніторингу мінерально-сировинної

бази Австралії та країн світу, займається популяризацією мінерально-сировинного комплексу Австралії та впроваджує комплекс заходів щодо підвищення інвестиційної привабливості для проведення ГРП і робіт з видобутку корисних копалин, підтримує геологічні бази даних і надає безперерйний доступ до якісної геологічної інформації, відстежує та забезпечує екологічність надрокористування.

Таблиця 2

Співставлення основних функцій і напрямів діяльності, що забезпечуються державними інституціями з геологічного вивчення та використання надр

Функції та напрями діяльності, що забезпечуються державними інституціями з геологічного вивчення та використання надр	Австралія	Німеччина	Польща	Україна
Нормативно-правове забезпечення надрокористування	+	+	+	+
Науковий супровід ГРП	+	+	+	+
Регіональне геологічне вивчення територій, картування (I стадія ГРП)	+	+	+	+
Пошукові та пошуково-оціночні роботи (II стадія ГРП)	±	—	—	+
Розвідка (III стадія ГРП)	—*	—*	—*	+
Видобуток (фінансування за рахунок державних/місцевих бюджетів)	—*	—*	—*	+
Інженерно-геофізичний та сейсмічний супровід	+	+	+	+
Оцінка запасів КК і ведення балансу запасів	+	+	+	+
Відкритий доступ до геологічної інформації	+	+	+	±
Підтримка геологічних баз даних та їхнє адміністрування	+	+	+	—
Аукціонна діяльність	+	+	+	+
Геологічний контроль	+	+	+	+
Гірничий нагляд	—	+	+	+
Експертно-кошторисна експертиза	—	—	—	+
Моніторинг кон'юнктури ринків мінеральних ресурсів: кількісний вимір і цінова політика	+	+	+	—
Мінерально-сировинна безпека	+	+	+	—
Популяризація мінерально-сировинного комплексу та забезпечення проведення робіт із залучення інвестицій в розвиток МСБ	+	—	—	—
Широкі повноваження регіональних (місцевих) органів влади щодо розвитку МСБ	+	+	—	—

*У рамках державного фінансування.

Висновки. Для оцінки дієвості та ефективності української моделі інституційного забезпечення геологічного вивчення та використання надр було здійснено аналіз функцій та напрямів діяльності геологічних служб Австралії, Німеччини, Польщі та України (табл. 2). У процесі такого аналізу було виявлено як ряд типових, так і ряд відмінних функцій для геологічних служб названих вище країн. Ряд типових функцій засвідчує, що Державна служба геології та надр України має досить логічну структуру. Але, ураховуючи зарубіжний досвід, можна зробити висновок, що Державна служба геології та надр України не забезпечує ряд ключових і прогресивних функцій у сфері геологічного вивчення та використання надр, таких як: моніторинг кон'юнктури ринків мінеральних ресурсів, популяризація мінерально-сировинного комплексу і забезпечення проведення робіт із залучення інвестицій в розвиток МСБ. Для впровадження зарубіжного досвіду в частині активізації інвестиційної привабливості мінерально-сировинного комплексу України та розвитку мінерально-сировинної бази доцільно переглянути завдання та функції, що покладені в основу структури Держгеонадра України, доповнивши їх вищевказаними з відповідним внесенням змін у структуру Державної служби геології та надр України. Дослідження досвіду функціонального призначення і ролі геологічних служб Австралії та Німеччини засвідчує ефективність і дієвість широких повноважень регіональних (місцевих) органів влади щодо розвитку МСБ. Оскільки в Україні не завершено процес децентралізації, досвід у частині надання широких повноважень місцевим органам самоуправління щодо розвитку МСБ не може бути повністю запроваджений.

Список використаних джерел

- Государственный кодекс Украины. (2003). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/436-15>
- Державні закупівлі замовника Державна служба геології та надр. (н.д.). Отримано 16 жовтня 2018 із <https://zakupki.prom.ua/gov/company0eaa96d6b6344df0bf574a6cef5c8e22?p=2>
- Довгий, С.О. (Ред.). (2007). Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. Київ: Наукова думка.
- Кодекс України про надра. (1994). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80>
- Постанова Кабінету Міністрів України про затвердження Положення про Державну службу геології та надр України. (2015). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1174-2015-%D0%BF>

Постанова Кабінету Міністрів України про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку мінерально-сировинної бази та внесення змін до Порядку проведення геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету. (2011). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/301-2011-%D0%BF>

Розпорядження Кабінету Міністрів України про передачу цілісних майнових комплексів державних підприємств, установ та організацій до сфери управління Державної служби геології та надр. (2011). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/8102011%D1%80?test=XNLMf5x.qwJgbgGwZio6d/tNH4Bgs80msh8le6>

Рудько, Г., Миргородський, О., Курило, М., Лагода О. (2012). Нормативно-правове регулювання надрокористування. Київ: Гіперіон.

Структура Державної служби геології та надр України. (н.д.). Отримано 16 жовтня 2018 із <http://www.geo.gov.ua/structure/>

Organisation of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. (n.d.). Отримано 10 жовтня 2018 із https://www.bgr.bund.de/EN/Allgemeines/Organisation/organisation_node_en.html

Organisation plan of the State Office for Mining, Energy and Geology of Germany. (2018). Отримано 6 жовтня 2018 із https://www.lbeg.niedersachsen.de/wir_ueber_uns_service/organisationsplan/organisationsplan-916.html

Organization Chart of the Leibniz Institute for Applied Geophysics. (2018). Отримано 6 жовтня 2018 із <https://www.leibniz-liag.de/institut/wir-ueber-uns/organigramm.html>

Organisation Structure of Department of Industry, Innovation and Science of Australia. (n.d.). Отримано 6 жовтня 2018 із https://www.industry.gov.au/sites/g/files/net3906f/201809/department_of_industry_innovation_and_science_organisation-chart.pdf

Organisation Structure of Geoscience Australia. (2018). Отримано 8 жовтня 2018 із <http://www.ga.gov.au/about/organisational-structure>

Organisation Structure of The Polish Geological Institute - National Research Institute. (2018). Отримано 5 жовтня 2018 із <https://www.pgi.gov.pl/o-institucie-geologicznej/struktura-organizacyjna.html>

Strategic priority areas Geoscience Australia's work program. (n.d.). Отримано 8 жовтня 2018 із <http://www.ga.gov.au/about/role>

The Geological Services of Australia. (n.d.). Отримано 7 жовтня 2018 із <http://www.ga.gov.au/about/partners>

The Geological Services of the Federal Republic of Germany. (n.d.). Отримано 10 жовтня 2018 із https://www.bgr.de/geol_la/geol_la.htm

Restructuring of Ukraine's mineral base and its information support. (2007). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80>

References

- Dovgyi, S.O. (Eds.) (2007). Restructuring of the mineral base of Ukraine and its information support. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian]
- Economic Code of Ukraine. (2003). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/436-15> [In Ukrainian]
- Government Procurement of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. (n.d.). Retrieved October 16, 2018 from <https://zakupki.prom.ua/gov/company0eaa96d6b6344df0bf574a6cef5c8e22?p=2> [In Ukrainian]
- On the transfer of integral property complexes of state enterprises, institutions and organizations to the sphere of management of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. (2011). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/301-2011-%D0%BF> [In Ukrainian]

Organisation of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. (n.d.). Retrieved October 10, 2018 from https://www.bgr.bund.de/EN/Allgemeines/Organisation/organisation_node_en.html

Organisation Structure of Department of Industry, Innovation and Science of Australia. (n.d.). Retrieved October 6, 2018 from https://www.industry.gov.au/sites/g/files/net3906/ff/201809/department_of_industry_innovation_and_science_organisation-chart.pdf

Organisation Structure of Geoscience Australia. (2018). Retrieved October 8, 2018 from <http://www.ga.gov.au/about/organisational-structure>

Organisation Structure of The Polish Geological Institute - National Research Institute. (2018). Retrieved October 5, 2018 from <https://www.pgi.gov.pl/o-institucie-geologicznym/struktura-organizacyjna.html>

Organization Chart of the Leibniz Institute for Applied Geophysics. (2018). Retrieved October 6, 2018 from <https://www.leibniz-liag.de/institut/wir-ueber-uns/organigramm.html>

Organizational plan of the State Office for Mining, Energy and Geology. (2018). Retrieved October 6, 2018 from https://www.lbeg.niedersachsen.de/wir_ueber_uns_service/organisationsplan/organisationsplan-916.html

Provisions of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. (2015). Retrieved October 16, 2018, from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1174-2015-%D0%BF>. [In Ukrainian]

Restructuring of Ukraine's mineral base and its information support. (2007). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80> [In Ukrainian]

Rudko, G., Myrhorodskiy, O., Kurylo, M., Lagoda, O. (2012). Normative legal regulation of subsurface management. Kiev: Hiperion. [In Ukrainian]

Strategic priority areas Geoscience Australia's work program. (n.d.). Retrieved October 8, 2018 from <http://www.ga.gov.au/about/role>

Structure of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. (n.d.). Retrieved October 16, 2018 from <http://www.geo.gov.ua/structure/> [In Ukrainian]

Subsoil Code of Ukraine. (1994). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80> [In Ukrainian]

The Geological Services of Australia. (n.d.). Retrieved October 7, 2018, from <http://www.ga.gov.au/about/partners>

The Geological Services of the Federal Republic of Germany. (n.d.). Retrieved October 10, 2018 from https://www.bgr.de/geol_la/geol_la.htm

The procedure for using state funds for the development of the mineral base and amending the Procedure for carrying out exploration works at the expense of the state budget. (2011). Retrieved October 16, 2018 from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/301-2011-%D0%BF> [In Ukrainian]

Надійшла до редколегії 10.09.18

A. Balega, PhD student,
E-mail: a_balega@ukr.net
S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: vsa@univ.net.ua
M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: kurylo@mail.univ.kiev.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kiev, 03022, Ukraine

INSTITUTIONAL PROVISION OF GEOLOGICAL STUDY AND USE OF SUBSOIL: NATIONAL AND INTERNATIONAL EXPLORATION

The national experience of institutional support for the study and use of subsoil are defined. The subjects of interaction in the sphere of geological mining use are defined, the mechanism of interaction is shown. The institutional provision of the study and use of subsoil is divided into three blocks of influence: institutions of general competence, inter-sectoral institutions of special competence and sectoral institutions of special competence. The role of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine in the system of institutional support of geological study and use of subsoil is determined. The structure of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine was systematized and the basic functions and directions of activity are defined. It is revealed that state financing of development of mineral base of Ukraine takes place through the system of enterprises and organizations belonging to the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine.

The structure and features of geological services in Germany, Poland and Australia were investigated. In the course of this analysis, a number of typical and a number of distinctive functions were identified for the geological services of the above mentioned countries. The State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine does not provide a number of key and progressive functions in the field of geological study and use of subsoil, such as: monitoring the state of the market of mineral resources, popularization of the mineral raw materials complex and enhancement of the investment attractiveness of the mineral base of Ukraine. It is concluded that for the introduction of foreign experience, changes should be made to the structure of the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. The study of the functional experience and the role of geological services in Australia and Germany testify to the effectiveness of regional geological services in the development of mineral base of these countries. Since the decentralization process in Ukraine has not been completed, experience in providing broad powers to local government bodies, a mineral base cannot be easily implemented.

Keywords: geological study, institutional support, structure of geological industry, use of subsoil, international exploration.

A. Балєга, асп.,
E-mail: a_balega@ukr.net
С. Вьжва, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vsauniv.net.ua
М. Курило, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: kurylo@mail.univ.kiev.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДР: НАЦИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Рассмотрено национальное измерение институционального обеспечения изучения и использования недр. Определены субъекты взаимодействия в сфере недропользования и показан механизм такого взаимодействия. Исходя из анализа действующей нормативно-правовой базы Украины, институциональное обеспечение изучения и использования недр целесообразно разделить на три блока воздействия: институции общей компетенции, межотраслевые институции специальной компетенции и отраслевые институции специальной компетенции.

Определена роль Государственной службы геологии и недр Украины (далее – Госгеонедр) в системе институционального обеспечения геологического изучения и использования недр. Систематизирована структура аппарата управления Госгеонедр как центрального органа исполнительной власти в сфере недропользования, и определены основные функции и направления деятельности. Выявлено, что государственное финансирование мероприятий по развитию минерально-сырьевой базы (далее – МСБ) осуществляется путем финансирования предприятий и организаций, относящихся к сфере управления Госгеонедр.

Для поиска оптимальной модели институционального обеспечения геологического изучения и использования недр в Украине был проведен анализ действующих систем организации и управления в сфере недропользования Германии, Польши и Австралии. В процессе такого анализа было выделено как ряд типичных, так и ряд отличных функций для геологических служб указанных выше стран. Учитывая зарубежный опыт и структуру отечественной геологической службы, можно сделать вывод, что Государственная служба геологии и недр Украины не обеспечивает ряд ключевых и прогрессивных функций в сфере геологического изучения и использования недр, таких как мониторинг конъюнктуры рынков минеральных ресурсов, популяризация минерально-сырьевого комплекса и обеспечение проведения работ по привлечению инвестиций в развитие минерально-сырьевой базы. Для внедрения зарубежного опыта в части активизации инвестиционной привлекательности минерально-сырьевого комплекса Украины и развития минерально-сырьевой базы целесообразно пересмотреть задачи и функции, которые положены в основу структуры Госгеонедр Украины, дополнив их указанными выше. Исследование опыта функционального назначения и роли геологических служб Австралии и Германии свидетельствует об эффективности и действенности широких полномочий региональных (местных) органов власти по развитию МСБ. Так как в Украине не завершён процесс децентрализации, опыт в части предоставления широких полномочий местным органам самоуправления по развитию МСБ не может быть полностью введен.

Ключевые слова: геологическое изучение, институциональное обеспечение, структура геологической отрасли, использования недр, международный опыт.

УДК 553.04/9

М. Курило, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
В. Бала,
E-mail: bala@dkz.gov.ua
ДКЗ України, вул. ген. Алмазова, 18/7, м. Київ, 01133, Україна

ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ КРИТЕРІЇ ПРОМИСЛОВОЇ ЦІННОСТІ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ З НЕЗНАЧНИМИ ЗАПАСАМИ

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

Метою даного дослідження є аналіз і систематизація критеріїв, за якими у вітчизняній і міжнародній практиці встановлюють промислове значення вугільних родовищ з незначними запасами. Проведено аналіз і систематизацію таких чинників загально для всіх вугільних родовищ з наступним визначенням найбільш впливових характеристик саме для незначних запасів.

Визначено гірничо-геологічні фактори, які зумовлені природними характеристиками родовища і безпосередньо належать до конкретного об'єкта, та фактори, які стосуються корисної копалини загалом або характеризують зовнішні умови промислового освоєння надр. Для вугільних родовищ з незначними запасами першочергове значення мають ті критерії, які безпосередньо впливають на найбільш критичний параметр – величину запасів вугілля і відповідно термін існування добувального підприємства. Такими критеріями є якість вугілля, що визначає напрям використання та його ліквідність, ступінь геологічного вивчення, який виражає геологічні ризики непідтвердження запасів, і складність гірничотехнічних умов, які визначають способи і системи розкриття і розробки запасів.

Серед зовнішніх факторів для вугільних родовищ найбільший вплив має наявність використання заміників сировини та кон'юнктура ринків, ціна на сировину. Для родовищ з незначними запасами більший вплив може мати фактор цін і можливості видобутку, що передбачає наявність дозвільних документів і соціальних дозволів.

Промислового значення об'єкти з незначними запасами можуть набувати за сприятливості всіх інших умов освоєння – гірничотехнічних умов, які сприяють формуванню низької собівартості видобутку, якості корисної копалини, сприятливої кон'юнктури ринку мінеральної сировини, локалізації об'єкта відносно споживачів та ін. При цьому головною передумовою залучення об'єктів з незначними запасами до експлуатації має бути їхній високий ступінь геологічного вивчення, а рішення про можливе промислове значення повинно прийматися після детальних техніко-економічних розрахунків.

Ключові слова: промислове значення, незначні запаси вугілля, критерії оцінювання.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Актуальність даних досліджень пов'язана з можливістю залучення до промислової розробки найбільш якісних запасів вугілля у випадках їхньої незначної кількості. Для встановлення промислового значення таких об'єктів проводиться кількісна, якісна та вартісна оцінка запасів за переліком критеріїв, які визначають рентабельність такого відпрацювання.

Актуальність вивчення вугільних родовищ з незначними запасами обґрунтована нормативними документами, зокрема:

- Інструкцією із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля;
- Програмою розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 р. (Закон..., 2011);
- Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" (Енергетична стратегія..., 2011), де вугілля залишається ключовим джерелом отримання енергії.

У вітчизняній практиці доцільність освоєння незначних запасів вугілля встановлюється в результаті проведення геолого-економічної оцінки (ГЕО), яка відбувається на базі розвіданих і попередньо оцінених запасів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фактори, які визначають промислове значення запасів твердих корисних копалин, визначено досить детально в роботах (Каждан, 1985; Wellmer, 1986; Коржнев та ін., 2006; Рудько, 2011; Михайлов, 2014). Найбільш узагальнено головними чинниками оцінки запасів розглядають такі (Коржнев та ін., 2006; Рудько, 2011; Михайлов, 2014): геологічні, гірничо-геологічні, технологічні, техніко-економічні, соціальні, екологічні, географічні. Як правило, окремо розглядають вплив зовнішніх факторів, серед яких найбільшу вагу мають кон'юнктура ринків мінеральної сировини, політичні та організаційні ризики. Усі групи факторів мають відображення в кількісних або якісних граничних значеннях критеріїв оцінювання. Перелік таких параметрів є досить сталим, хоч вага кожного з них може значно змінюватись як для окремих корисних копалин, так і для конкретних родовищ.

У міжнародній практиці (Australasian Code..., 2012) промислове значення запасів встановлюють з урахуванням так званих "модифікуючих факторів", які характеризують гірничі, технологічні, інфраструктурні, економічні, маркетингові, правові, екологічні, соціальні та інші фактори.

Вітчизняна практика геолого-економічної оцінки вугільних родовищ базується на Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Класифікація..., 1997) та Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля (Інструкція..., 2004). У цих документах наводяться критерії розподілу запасів вугілля за промисловим значенням. Ними можуть бути: гірничотехнічні або технологічні параметри, результати техніко-економічних розрахунків та/або матеріали фінансової звітності, нормативні чинники, зокрема наявність дозвільних документів для освоєння.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Більшість опублікованих праць містять аналіз і визначення критеріїв промислової цінності родовищ загалом, як правило, для твердих геологічних копалин. Окремо методи та інструменти геолого-економічної оцінки запасів і ресурсів вугілля розглядаються в роботах (Інструкція..., 2004; Australasian Code..., 2012). Виконані авторами дослідження стосуються родовищ вугілля з незначними запасами, які масштабно оцінювались і залучались до освоєння протягом 2009–2013 рр. Такі об'єкти, як правило, мають негативний вплив критеріїв, які стосуються кількості запасів і виражені в незначних термінах експлуатації. Натомість для них характерні позитивні значення інших параметрів оцінювання.

Формулювання цілей статті. Метою проведеної роботи є виявлення головних критеріїв, які формують промислове значення вугільних родовищ з незначними запасами. Необхідним є їхній аналіз і систематизація для всіх вугільних родовищ з наступним визначенням найбільш впливових характеристик саме для незначних запасів. Також доцільним є зіставлення класифікаційних ознак запасів і ресурсів вугільних родовищ для вітчизняних нормативних і закордонних документів, а також визначення факторів ризику освоєння таких запасів.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом даного дослідження є вугільні родовища з незначними запасами. Належність до такого класу визначається відповідно до Постанови КМУ від 11 серпня 2000 р. № 1257 "Про затвердження критеріїв, за якими визначаються незначні запаси корисних копалин" (*Постанова...*, 2000). Для родовищ кам'яного вугілля цим нормативом встановлено граничне значення – запаси менше 5 млн т, для бурого вугілля – менше 0,5 млн т.

Для встановлення критеріїв промислового значення таких запасів вугілля спочатку було проведено систематизацію всіх факторів геолого-економічної оцінки для твердих корисних копалин. Згідно з даними (*Михайлов, 2014*) ними є такі:

- геоекологічні – існування особливих природних об'єктів, що охороняються (заповідники, заказники, національні парки), господарська цінність земель, що відчужуються (сільгоспугіддя, ліси), можливі екологічні наслідки від порушення цілісності надр, водного режиму та ін., витрати на очищення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря і рекультивацію території після відпрацювання покладів, мінімізацію негативних екологічних наслідків розробки родовища і т. ін.;

- геологічні – особливості будови родовища, розмір і морфологія рудних покладів, кількість промислових запасів основного і супутніх корисних компонентів, особливості залягання рудних тіл і т. ін.;

- гірничо-геологічні – характер і глибина залягання корисних копалин, мінливість літологічного складу і фізико-механічних властивостей вмісних порід, характер розривної тектоніки, структурно-морфологічні типи рудних тіл (штокверки, жили, лінзи, зони та ін.), потужність тіл, наявність безрудних інтервалів, коефіцієнт розкриття, гідрогеологічні умови відпрацювання, фізико-механічні властивості рудних покладів і вмісних порід, обводненість і загазованість родовищ і багато іншого;

- економічні – рівень попиту і споживання, наявність ринків збуту, сприятливість міжнародної кон'юнктури, рівень конкуренції, ціни на продукцію, собівартість продукції, капітальні витрати на гірничо-металургійний комплекс, експлуатаційні витрати, розмір прибутків, рівень рентабельності розробки родовища, ринкова вартість кінцевого продукту, вартість випереджувальних ГРП тощо;

- політичні – стабільність і демократичність політичної системи країни; наявність законодавчої бази; інвестиційна політика держави, система оподаткування і рентного регулювання, методи державного регулювання використання надр тощо.

- географічні – кліматичні особливості місцевості, тип рельєфу і клімат, наявність інфраструктури (шляхи сполучення, умови енергозабезпеченості та водопостачання, наявність місцевих будівельних матеріалів і ресурсів палива), забезпеченість робочою силою та ін.;

- соціально-економічні – значення корисних копалин для потреб держави; ступінь забезпеченості цим видом корисних копалин;

- техніко-економічні – продуктивність гірничодобувного підприємства, способи розробки родовища, рівень механізації підприємства тощо;

- технологічні – мінеральний і хімічний склад руд, вміст основних і супутніх компонентів, структурно-текстурні особливості руд, фізичні та хімічні властивості (вологість, щільність, об'ємна маса, твердість, магнітні властивості мінералів, міцність і стійкість руди та вмісних порід, ступінь тріщинуватості порід тощо), наявність шкідливих домішок, комплексність руд, технології переробки і вилучення корисних компонентів, коефіцієнт вилучення корисних компонентів та ін.

Для більшості родовищ першим визначальним критерієм оцінки є величина запасів. Великі за масштабом родовища можуть рентабельно розроблятися навіть при негативному впливі інших факторів промислової цінності. Прямо протилежні передумови характерні для родовищ вугілля з незначними запасами.

1. Величина запасів родовища визначає можливість продуктивності гірничого підприємства і термін його існування. У свою чергу, продуктивність визначає собівартість продукції, що випускається за трьома складовими: 1) змінні витрати, загальна сума яких прямо пропорційна обсягу продукції, що випускається, а питома значення в розрахунку на 1 т (м³) продукції залишається постійним (витрати на енергію, матеріали, працю і т.п.); 2) умовно-постійні витрати, загальна сума яких пропорційна часу існування підприємства, а питома значення зменшується пропорційно продуктивності (загальноцехові, адміністративні витрати і т.п.); 3) амортизація капітальних вкладень, загальна величина яких зростає пропорційно продуктивності, а питома ще й обернено пропорційна часу існування підприємства.

2. У певних ситуаціях оптимальна за часом потужність шахти може виявитися не оптимальною з технологічної або економічної позицій. Тому в тих випадках, коли інформація про родовище досить повна, доцільно обрати більш точні способи її оцінки за інтенсивністю відпрацювання родовища (для похилозалягаючих і крутопадаючих пластів) та за умовами розвитку очисних робіт.

Величина загальних запасів родовища не завжди є визначальною. Наприклад, коли освоєння родовища здійснюється чергами, важливо лише отримати впевненість у тому, що імовірне значення цієї величини дозволяє організувати рентабельне виробництво на першій черзі за наявності певних резервів для його розвитку в майбутньому (наращення запасів за рахунок прирізки запасів). Узагалі, реальна місткість ринку і можливий попит на вироблену продукцію мають оцінюватися вже на ранніх стадіях вивчення родовищ. Щоб уникнути прорахунків у виборі продуктивності і, відповідно, економіки освоєння, при розрахунках не слід забувати, що оцінка "запаси – продуктивність" може здійснюватися по гірничій масі, а випуск продукції визначається виходом напівфабрикату (рядове вугілля) або вугільного концентрату.

Власне для вугільних родовищ геолого-економічні критерії та показники оцінки систематизовано в методичному документі – Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля (*Інструкція...*, 2004) та наведено в табл. 1.

Із даних таблиці видно, що значна кількість параметрів оцінки стосуються гірничо-геологічних умов розробки та якості вугільних родовищ, але напруга не стосується кількості запасів. Це можна пояснити взаємозв'язком якісних і кількісних характеристик родовища. Перелічені критерії практично оцінюються при підрахунку запасів у вигляді встановлених параметрів кондицій, які відбраковують найменш якісну частину запасів. Так, у більшості випадків для балансових запасів використовують параметри кондиції для якості: максимальна зольність вугілля – 40 %, мінімальна потужність вугільного пласта простої й складної будови – 0,5–0,6 м; для позабалансових запасів: максимальна зольність – 45–50 %, мінімальна потужність вугільного пласта простої й складної будови – 0,4–0,5 м. Застосування кондицій з якості вугілля та гірничо-геологічних умов відпрацювання спричиняє зменшення кількості запасів. Це має особливе значення для незначних запасів вугілля, оскільки будь-яке їхнє скорочення може призвести до нерентабельності відпрацювання і некупності залучених засобів виробництва.

Таблиця 1

Критерії та показники промислової цінності запасів вугілля складено за даними (Інструкція..., 2004)

№	Фактори та критерії оцінювання	Показники, які використовують для оцінки фактора	Особливості застосування для родовищ із незначними запасами
1	Кількість запасів	За кількістю запасів родовища вугілля поділяються на надвеликі – з запасами вугілля більше 100 млн т, великі – від 50 до 100 млн т, середні – від 20 до 50 млн т та малі – менше 20 млн т	Не оцінюється. Незначними є запаси кам'яного вугілля менше 5 млн т, для бурого вугілля – менше 0,5 млн т
2	Якість вугілля, марки та напрям використання	Питома теплота згорання на сухий беззолний залишок ($Q_s \text{ daf}$), у перерахуванні на робоче паливо ($Q_i \text{ r}$), середній показник відбиття вітриніту (R_o , %), вихід летких речовин (V_{daf} , %)	Застосування без особливостей
3	Основні технологічні властивості та напрям використання	Для бурого вугілля – масова частка максимальної вологості на беззолний залишок (W_{maxaf} , %), вихід смоли напівкоксування ($TsK \text{ daf}$, %) і вища теплота згорання на сухий беззолний залишок ($Q_s \text{ daf}$, МДж/кг); для кам'яного – товщина пластичного шару (Y) мм; для високометаморфізованого кам'яного вугілля – вища теплота згорання на сухий беззолний залишок ($Q_s \text{ daf}$, МДж/кг), показник спікливості по індексу R_{oga} (RI); для антрацитів – вища теплота згорання на сухий беззолний залишок ($Q_s \text{ daf}$, МДж/кг)	Застосування без особливостей
4	Складність геологічної будови	За особливостями геологічної будови – витриманістю потужності, будовою вугільних пластів, складністю умов їхнього залягання і гірничо-геологічними умовами розробки виділяють просту, складну та дуже складну будову родовищ (ділянок)	-//-
4.1	Морфометрія і витриманість вугільних пластів	Поділ за потужністю на тонкі (менше 0,7 м), середньої потужності (0,71–1,2 м), потужні – більше 1,2 м. Для бурого вугілля, відповідно, – менше 2 м, 2,1–4,0 м і більше 4 м Групи витриманості вугільних пластів за коефіцієнтом варіації (V , %): витримані, відносно витримані та невитримані	-//- Ступінь витриманості шару звичайно встановлюється для площі розміром не менше 4 км ²
4.2	Кути падіння пластів	Виділяються пласти з горизонтальним (0–5°), пологим (6–18°), похилим (19–35°), крутопохилим (36–55°) і крутим (56–90°) заляганням	Застосування без особливостей
4.3	Глибина залягання	Шахтні поля, які виділяються на глибоких (більше 1000 м від денної поверхні) горизонтах і за витриманістю потужності вугільних шарів і якістю вугілля і за характером тектоніки відповідають 1-й групі, належать до 2-ї групи Класифікації запасів унаслідок надзвичайної складності гірничогеологічних умов відпрацювання, детальне вивчення яких не забезпечується технічними засобами геологорозвідувальних робіт	Як правило, не застосовується. Для незначних запасів глибина залягання більше 1000 м від денної поверхні призводить до втрати промислового значення; здебільшого глибина їхнього відпрацювання не перевищує 650 м
4.4	Селективність видобутку	Група родовища (ділянки) залежить від передбачуваного способу (відкритий чи підземний, валовий чи селективний) розкриття і розробки родовища (ділянки). При цьому чим більша селективність (вибірковість) розробки, тим складніша геологічна будова родовища	Для незначних запасів недоцільне застосування систем селективного видобутку
4.5	Ступінь порушеності на тектонічно складних полях шахт (розрізів)	Розривні порушення за величиною амплітуди поділяються на п'ять класів: надзвичайно дрібні – менше 3 м, дрібні – 3–10 м, середні – 10–100 м, великі – 100–1000 м та надзвичайно великі – більше 1000 м	Застосування без особливостей
4.6	Гідрогеологічні умови	Величина можливих водопріпливів у гірничій виробці залежить, перш за все, від проникності середовища, тобто тріщинуватості й пористості порід масиву	-//-
5	Газовість	Метаноносність (м ³ метану на 1 т добового видобутку вугільних пластів і бічних порід), як правило, зростає зі збільшенням глибини розробки. Виділення метану є одним з істотних чинників, які впливають на собівартість видобутку. На газових шахтах збільшується кількість необхідного повітря на 1 т середньодобового видобутку. Більш складними та енергоємними стають системи провітрювання і підігріву повітря. Усе обладнання газових шахт створюється у вибухонебезпечному виконанні. Газовиділення справляє помітний вплив на вибір порядку відпрацювання шахтного поля і систем розробки (з мінімальною кількістю глухих і висхідних виробок)	-//-
5	Мінімальні запаси відокремлених блоків вугілля	Визначення мінімальних запасів пов'язано з обґрунтуванням способу розробки, капіталовкладень, річної потужності й техніко-економічних показників шахти. Також залежить від місця розташування і дефіцитності сировини в даному районі	Параметри переважно для шахт з великими запасами
6	Комплексність освоєння	Вміст супутніх компонентів: піриту, марказиту, германію, рубідію, цезію, індію, галію, урану, скандію, молібдену, свинцю і цинку, бітумів та ін.	-//-
7	Небезпека забруднення навколишнього середовища за наявності шкідливих сполук	Підвищений вміст сірки та інших елементів, що утворюють високотоксичні і лужні сполуки (ртуті, миш'яку, берилію, фтору, K_2O , Na_2O)	-//-
8	Ступінь техніко-економічного вивчення	Визначення гірничотехнічних, географо-економічних, соціально-економічних, економічних та інших умов промислового освоєння виявлених вугільних пластів, прийнятих способів і технологічних схем видобутку та переробки вугілля, а також умов реалізації товарної продукції гірничого виробництва. Розподіл на запаси, для яких проведено ГЕО-1, ГЕО-2, ГЕО-3	-//-
9	Промислове значення	За результатами техніко-економічних і вартісних розрахунків розподіл на балансові, позабалансові та умовно балансові запаси	-//-

Крім перелічених у табл. 1, для незначних запасів додаєть вплив мають такі чинники.

Взаємне розташування пластів у світі. При розробці зближених пластів необхідно враховувати черговість їхньої виїмки і більш складне (більш вартісне), ніж у звичайних випадках, підтримання виробленого простору. Обидва ці фактори обумовлюють застосування тільки певних способів розкриття та систем розробки.

Гідрогеологічні умови. Для незначних за запасами ділянок надр також характерним є гідрогеологічний зв'язок із затопленими старими гірничими виробками. Цей аспект може бути як позитивним (у разі дренажу старих гірничих виробок за рахунок відкачки води на діючих шахтах), так і негативним – при затопленні виробок старих гірничих робіт збільшенням водовідведення за рахунок гідрологічного зв'язку.

Фізико-механічні властивості корисної копалини і вмісних порід, у тому числі:

- тріщинуватість гірських порід ускладнює роботу породоруйнуючого інструменту на забої, збільшує водопроникність;

- гранулометричний склад вмісних гірських порід має велике значення для процесу переробки вугілля;

- стійкість гірських порід істотно впливає на вибір системи розробки, способу управління гірським тиском і конструкції кріплення виробок і очисного простору. Найбільш простим є управління обваленням глинистих і піщаних сланців, більш складним – пісковиків і вапняків;

- вологість корисної копалини і пористість, від яких безпосередньо залежать: механічна міцність, абразивність, водопроникність та інші властивості гірських порід;

- механічна міцність, яка залежить від мінералогічного складу, структури, пористості, вологості, характеру зв'язку між зернами, твердості й розміру часток і т. ін.

Далі проведено статистичний аналіз та аналіз чутливості найбільш важливих параметрів оцінки, що дало змогу визначити граничні та оптимальні значення показників. Для

проведення статистичного аналізу було створено вибірку із групи вугільних родовищ з незначними запасами, для яких зібрано і систематизовано такі показники:

1. складність геологічної будови та гірничо-геологічних умов розробки (за групами складності);
2. мінімальна загальна потужність, м;
3. максимальна загальна потужність, м;
4. середня загальна потужність, м;
5. витриманість пластів (за групами витриманості пластів);
6. площа шахтоділянки;
7. глибина залягання пластів, м;
8. кути падіння порід (від...до);
9. вологість, %;
10. зольність чистих вугільних пачок, %;
11. середня зольність з урахуванням засмічення, %;
12. вміст сірки, %;
13. вихід летких речовин середній, %;
14. кількість балансових запасів, тис. т;
15. експлуатаційні запаси, тис. т;
16. виробнича потужність, тис. т/рік;
17. термін будівництва, років;
18. термін експлуатації, років;
19. собівартість 1 т рядового вугілля, грн;
20. оптова ціна 1 т рядового вугілля, грн;
21. рентабельність за чистим прибутком, %.

Серед перелічених показників № 1–8 характеризують складність геологічної будови та гірничо-геологічних умов розробки, № 9–13 визначають якість, марки та напрям використання вугілля, показники № 14–21 стосуються кількості запасів і техніко-економічних параметрів їхньої розробки.

У табл. 2 наведено результати розрахунків з визначенням граничних та оптимальних параметрів для рентабельної розробки вугільних родовищ з незначними запасами.

Таблиця 2

Чинники та критерії, які визначають промислове значення вугільних родовищ з незначними запасами

Чинники, які впливають на промислове значення запасів	Критерії оцінювання запасів	Граничні значення параметрів	Оптимальні значення параметрів
Геологічні та гірничо-геологічні	Величина запасів	до 5 млн т	4–5 млн т
	Складність геологічної будови	складна (2-га група) складності	проста, переважно проста (1-ша група складності)
	Глибина розробки	до 600 м	до 200–300 м
	Якість вугілля та напрям використання	А,Ж,К,П	А
	Ступінь геологічного вивчення (геологічні ризики)	С1+С2	А+В
Технологічні властивості	Збагачуваність	від легкої до дуже важкої, переважно середнього ступеня збагачуваності	легкого та середнього ступеня збагачуваності
Екологічні умови	Способи та системи розробки	підземний, камерна система, розкриття похилими стовбурами	підземний, камерна система, розкриття похилими стовбурами
	Існуючий стан геологічного середовища регіону	істотно порушений, спричинено попередніми добувними роботами, деколи критичний (за класифікацією Є.О. Яковлева)	частково порушений (за класифікацією Є.О. Яковлева)
Економічні передумови	Кон'юнктура ринків і ціна на сировину		
	Ціна вугілля	не нижче 400 грн/т	600 грн/т
	Виробнича потужність, тис. т/рік	не менше 5–10 тис. т	70
	Термін промислового освоєння, років	не менше 5 років	15
	Термін будівництва, років	не більше 3–4 років	менше 1 року
	Рентабельність проекту, %	15–18	20
	Окупність капіталовкладень	не більше 2–3 років	менше 1 року

У міжнародній практиці для визначення базових критеріїв оцінки гірничих проектів найчастіше використовують методи експертних оцінок, і окремі консалтингові компанії мають свій перелік факторів, які визначають ризики і переваги гірничого бізнесу. За експертною оцінкою компанії "Ernst & Young" (Top, 2017) для освоєння вугільних родовищ найважливішими є фактор наявності й використання заміників сировини. Саме собівартість і ціна використання інших видів енергетичних ресурсів може спричинити скорочення попиту на вугілля. Другим фактором для вугільних родовищ названо оптимізацію грошових засобів добувних підприємств. Фактор оптимізації грошових потоків спричинений обмеженням прогнозом щодо цін і попиту на ринку, що є результатом постійних змін кон'юнктури ринків. Добувні компанії намагаються утримати ліквідність балансу і максимізувати операційний грошовий потік для довгострокової рентабельності. Найчастіше компанії можуть ефективно контролювати ліквідність шляхом поступового скорочення витрат і забезпечувати підвищення ефективності капіталовкладень.

Третім фактором є наявність "соціальних дозволів" і можливості відновлення шахт. Негативні наслідки розробки родовищ, пов'язані із соціальними та екологічними факторами, впливають на імідж підприємств і ускладнюють отримання дозволів і ліцензій на видобуток вугілля. Для отримання "соціальної ліцензії" компаніям необхідно забезпечити стратегічні заходи в цьому напрямі й пов'язати ефективність виробництва з вигодами місцевих спільнот.

Для вибірки вугільних родовищ з незначними запасами було проведено аналіз чутливості вартісних показників освоєння (вартості ЧДГП (NPV), терміну окупності капіталовкладень (PP), коефіцієнта рентабельності (R) при зміні найбільш важливих параметрів оцінки – кількості запасів (табл. 3) та при зміні ціни реалізації товарної продукції (табл. 4). Результати розрахунків підтверджують значний вплив коливань кон'юнктури ринку і ціни на сировину, але також фіксують істотний вплив на рентабельність освоєння можливого непідтвердження кількості запасів.

Таблиця 3

Результати аналізу чутливості вартості й рентабельності освоєння при зміні кількості запасів

	Зміна вихідних параметрів, %	NPV, %	PP	R, %
Базовий варіант	0	361,0	1,7	15,6
Зміна кількості запасів	-20	217,5	1,9	11,4
	-10	289,2	1,8	13,5
	10	414,7	1,7	17,1
	20	468,4	1,6	18,6

Таблиця 4

Результати аналізу чутливості вартості й рентабельності освоєння при зміні ціни реалізації

	Зміна вихідних параметрів, %	NPV, %	PP	R, %
Базовий варіант	0	361,0	1,7	15,6
Дохід від реалізації/зміна ціни	-20	13,4	13,4	-3,9
	-10	187,2	7,6	5,8
	10	620,5	1,3	25,3
	20	880,1	0,9	35,1

Висновки. Для більшості родовищ першим визначальним критерієм оцінки є величина запасів. Великі за масштабом родовища можуть рентабельно розроблятися навіть при негативному впливі інших факторів промислової цінності. Прямо протилежні передумови характерні для родовищ вугілля з незначними запасами. Незначні кількості запасів, як правило, зумовлюють короткі терміни експлуатації ділянки надр з невисокими показниками продуктивності. Це є причиною необхідності прискореної окупності капіталовкладень, що в таких умовах – складне завдання.

Для вугільних родовищ з незначними запасами першочергове значення мають ті критерії, які безпосередньо впливають на найбільш критичний параметр – величину запасів вугілля і відповідно термін існування добувного підприємства. Такими критеріями є якість вугілля, що визначає напрям використання і його ліквідність, ступінь геологічного вивчення, який виражає геологічні ризики непідтвердження запасів і складність гірничотехнічних умов, які визначають способи і системи розкриття і розробки запасів.

Серед економічних факторів для вугільних родовищ загалом найбільший вплив має наявність використання заміників сировини та кон'юнктура ринків, ціна на сировину. Для родовищ з незначними запасами більший вплив може мати фактор цін і можливості видобутку, що передбачає наявність дозвільних документів і соціальних дозволів.

Промислового значення об'єкти з незначними запасами можуть набувати за сприятливості всіх інших умов освоєння – гірничотехнічних умов, які сприяють форму-

ванню низької собівартості видобутку, якості корисної копалини, сприятливої кон'юнктури ринку мінеральної сировини, локалізації об'єкта відносно споживачів та ін. При цьому головною передумовою залучення об'єктів з незначними запасами до експлуатації має бути їхній високий ступінь геологічного вивчення, а рішення про можливе промислове значення повинно прийматися після детальних техніко-економічних розрахунків.

Список використаних джерел

- Енергетична стратегія України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". (2011). Отримано з <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
- Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля. (2004). К: ДКЗ України.
- Каждан, А. Б. Кобахидзе, Л. П. (1985). Геолого-економіческая оценка месторождений полезных ископаемых. М: Недра.
- Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр. (1997). Офіційний вісник України, 19.
- Коржнев, М. М., Михайлов, В. А., Міщенко, В. С. та ін. (2006). Основи економічної геології. Навч. посібник. К.: Логос.
- Михайлов, В. А., Курило, М. М. (2014). Базові терміни і поняття економічної геології. Навч. посібник. К.: ВПЦ "Київський університет".
- Постанова КМУ від 11 серпня 2000 р. N 1257 "Про затвердження критеріїв, за якими визначаються незначні запаси корисних копалин". (2000). Отримано з <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1257-2000-%D0%BF>
- Закон України "Про затвердження Програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року" (2011). <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17>
- Рудько, Г. І., Курило, М. М., Радованов, С. В. (2011). Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин. К.: АДЕФ-Україна.
- Рудько, Г. І., Плотніков, О. В., Курило, М. М., Радованов, С. В. (2010). Економічна геологія родовищ залізистих кварцитів. К.: Академпрес.
- Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. (2012). Отримано з http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf.

Top 10 business risks facing mining and metals, 2016–2017. (2017). Отримано з <http://www.ey.com/GL/en/Industries/Mining-Metals/Business-risks-in-mining-and-metals>

Wellmer, E. W. (1986). Economic evaluation in exploration. Berlin, Springer Verlag.

References

Energy strategy of Ukraine for the period until 2035 "Safety, energy efficiency, competitiveness". (2011). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> [in Ukrainian]

Instruction for application of the classification of mineral reserves and resources of the state fund for coal deposits. (2004). K.: DKZ of Ukraine. [in Ukrainian]

Kazhdan, A. B. Kobakhidze, L. P. (1985). Geological and economic estimation of mineral deposits. M.: Nedra. [in Russian]

Classification of mineral reserves and resources of the state fund of subsoil. (1997). Official Bulletin of Ukraine, 19. [in Ukrainian]

Korzhnev, M.M., Mikhailov, V.A., Mischenko, V. S. et al. (2006). Fundamentals of Economic Geology. Teach. manual. K.: Logos. [in Ukrainian]

Mikhailov, V.A., Kurilo, M.M. (2014). Basic terms and concepts of economic geology. Teach. manual. K.: VPC "Kyiv University". [in Ukrainian]

Government Resolution N 1257 of 11 August 2000 "Approval of criteria for defining insignificant reserves of minerals". (2000). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1257-2000-%D0%BF> [in Ukrainian]

Law of Ukraine "Approval of Program of development of the mineral-raw material base of Ukraine until 2030". (2011). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17> [in Ukrainian]

Rudko, G.I., Kurylo, M.M., Radovanov, S.V. (2011). Geological and economic assessment of mineral deposits. K.: ADEF-Ukraine. [in Ukrainian]

Rudko, G.I., Plotnikov, O.V., Kurilo, M.M., Radovanov, S.V. (2010). Economic geology of deposits of ferruginous quartzites. K.: Academy Press. [in Ukrainian]

Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. (2012). Retrieved from http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf.

Top 10 business risks facing mining and metals, 2016–2017. (2017). Retrieved from <http://www.ey.com/GL/en/Industries/Mining-Metals/Business-risks-in-mining-and-metals>

Wellmer, E. W. (1986). Economic evaluation in exploration. Berlin, Springer Verlag.

Надійшла до редколегії 10.08.18

M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,

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

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

V. Bala, E-mail: bala@dkz.gov.ua

State Commission of Ukraine on Mineral Resources

18/7 Generala Almazova Str., of. 816, Kyiv, 01133, Ukraine

GEOLOGICAL AND ECONOMIC CRITERIA OF INDUSTRIAL VALUE OF COAL DEPOSITS WITH INSIGNIFICANT RESERVES

The purpose of this study is to analyze and systematize criteria by which, in domestic and international practice, the industrial value of coal deposits with small and insignificant reserves is determined. The analysis and systematization of such factors in general for all coal deposits with the definite definition of the most influential characteristics for small stocks are carried out.

Mining and geological factors, which are caused by natural characteristics of the deposit and directly related to the concrete object, are determined, and there have been singled out factors concerning the minerals in general or characterizing the external conditions of industrial development of deposits. For coal deposits with insignificant reserves, the criteria that directly affect the most critical parameter - the value of coal reserves and, consequently, the lifetime of the mining enterprise have paramount importance. Such criteria are the quality of coal, which defines the direction of use and its liquidity, the degree of geological study, which expresses the geological risks of reserves confirmation, and the complexity of mining technical conditions that define methods and systems for the reserves disclosure and development.

In general, external factors for coal deposits are most affected by the availability of raw material substitutes and market conditions, and coal prices. For deposits with insignificant reserves, prices and possibility of mining, which involves availability of licenses and social permits, may have a greater impact.

Industrial significance of deposit with insignificant reserves may appear favorable of all other conditions of development - mining and technical conditions that form low cost of production, coal quality, favorable market conditions for mineral raw materials, localization of the deposit near consumers, etc. At the same time, the main prerequisite for attracting objects with insignificant reserves to exploitation should be their high degree of geological study. Decision about possible industrial significance should be taken after detailed technical and economic calculations.

Keywords: industrial significance, insignificant coal reserves, evaluation criteria.

М. Курило, канд. геол. наук, доц.,

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

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

В. Бала, E-mail: bala@dkz.gov.ua

ГКЗ України, ул. Генерала Алмазова, 18/7, оф. 816, Київ, 01133, Україна

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЦЕННОСТИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ

Целью данного исследования является анализ и систематизация критериев, по которым в отечественной и международной практике устанавливают промышленное значение угольных месторождений с незначительными запасами. Проведен анализ и систематизация таких факторов в целом для всех угольных месторождений с последующим определением наиболее важных характеристик именно для незначительных запасов.

Определены горно-геологические факторы, которые обусловлены природными характеристиками месторождения и непосредственно относятся к конкретному объекту, и факторы, касающиеся полезного ископаемого в общем или которые характеризуют внешние условия промышленного освоения недр. Для угольных месторождений с незначительными запасами первостепенное значение имеют те критерии, которые влияют на наиболее критический параметр – величину запасов угля и, соответственно, срок существования добывающего предприятия. Такими критериями являются: качество угля, что определяет направление использования и его ликвидность, степень геологического изучения, которая выражает геологические риски неподтверждения запасов, и сложность горнотехнических условий, которые определяют способы и системы раскрытия и разработки запасов.

Среди внешних факторов на угольные месторождения в основном наибольшее влияние оказывает наличие использования заменителей сырья и конъюнктура рынков, цены на сырье. Для месторождений с незначительными запасами большее влияние может иметь фактор цен и правовые возможности добычи, что предполагает наличие разрешительных документов и социальных разрешений.

Промышленное значение объекты с незначительными запасами могут приобретать при благоприятном влиянии всех других условий освоения (кроме количества запасов) – горнотехнических условий, способствующих формированию низкой себестоимости добычи, качества полезного ископаемого, благоприятной конъюнктуры рынка минерального сырья, локализации объекта по отношению к потребителям и др. При этом главным условием привлечения объектов с незначительными запасами в эксплуатацию является высокая степень геологического изучения, а решение о возможном промышленном значении должно приниматься после детальных технико-экономических расчетов.

Ключевые слова: промышленное значение, незначительные запасы угля, критерии оценки.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:624.137.2(1-21)

О. Кошляков, д-р геол. наук, проф., зав. каф.,
E-mail: kosh57@ukr.netО. Диняк, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: oksdyn@ukr.netІ. Кошлякова, пров. інженер,
E-mail: irkos@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаТ. Кошлякова, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,
E-mail: geol@bigmir.netДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"
пр. Палладіна, 34-а, м. Київ-142, 03680, Україна

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКІВ СТІЙКОСТІ УКОСІВ І СХИЛІВ У МЕЖАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

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

Розглядається питання врахування впливу підземних вод на стійкість укосів і схилів. Актуальність дослідження викликана тенденцією збільшення частоти проявів екзогенних геологічних процесів унаслідок техногенного впливу. Своєчасне виявлення небезпечних ділянок і застосування заходів з метою запобігання розвитку зсувних процесів дозволить уникнути значних збитків. Важливим чинником, що безпосередньо впливає на прогноз, є достовірний розрахунок стійкості та адекватна інтерпретація результатів залежно від вибору методу розрахунку. Різні методи розрахунків, різна складність їхнього виконання та неоднозначність результатів посилюють проблему, особливо це стосується коливання рівня ґрунтових вод та його подальшого впливу на параметри стійкості. Проаналізовано існуючі методи розрахунку стійкості укосів і схилів, зокрема з урахуванням часових змін рівня ґрунтових вод. Доводиться, що подальше підвищення достовірності й точності результатів розрахунків у першу чергу залежить від удосконалення методів визначення водно-фізичного стану ґрунтів і гідродинамічних особливостей руху підземних вод. Авторами обґрунтовано необхідність урахування величини інтенсивності інфільтраційного живлення підземних вод при прогнозуванні оцінці рівня підземних, особливо ґрунтових вод. Досліджено роль техногенної складової інфільтраційного живлення внаслідок утрат з водних комунікацій, зокрема на локальних ділянках, що в подальшому віддзеркалюється на обґрунтуванні запобіжних інженерних заходів.

Ключові слова: інфільтрація, стійкість укосів і схилів, ґрунтові води, інфільтраційне живлення підземних вод.

Вступ. Зростання рівня урбанізації міст, забезпечення комфортності проживання населення, концентрація будівель і споруд в обмеженому просторі та інші фактори призводять до значного техногенного навантаження на геологічне середовище, що, у свою чергу, викликає розвиток екзогенних процесів, таких як зсуви, ерозія та суфозійно-просідні процеси, а також заболочування. Проблема вивчення таких негативних геологічних процесів і охорона природного середовища як сфери проживання, збереження житла та архітектурно-історичного і культурного надбання країни протягом останнього часу набули особливого значення. Тому комплексна еколого-геологічна оцінка території міст, які підпадають під вплив сучасних геологічних процесів з використанням сучасних технологій та методик, у тому числі із застосуванням геоінформаційних технологій, є важливим завданням у справі запобігання та прогнозування цих руйнівних явищ.

На сьогодні спостерігається тенденція збільшення частоти прояву екзогенних геологічних процесів унаслідок техногенного впливу, зокрема у м. Києві. Щороку нараховуються десятки випадків більш-менш великих переміщень ґрунтових масивів, які, у свою чергу, також призводять до руйнувань або можуть служити причинами розвитку подальших масштабніших зсувних явищ.

Своєчасним обстеженням схилів, виявленням небезпечних ділянок і віднесенням їх до зсувонебезпечних територій з одночасним дотриманням певних правил використання схилу та прилеглих до нього ділянок можна уникнути значних збитків. Загалом слід виходити з положення, що проблема зсувів є проблемою схилів, особливо, коли в результаті господарської діяльності порушені природні умови, що склалися.

Існуючі методи розрахунку стійкості укосів і схилів, особливо з урахуванням часових змін рівня ґрунтових вод, потребують аналізу і доопрацювання з метою врахування чинників, що можуть призвести до порушення стійкості геотехнічної системи "схил-ґрунтовий масив". Тому актуальним науково-практичним завданням

протягом багатьох років для кафедри гідрогеології та інженерної геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка є питання вивчення геомеханічних процесів масиву в умовах змін рівня підземних вод та вдосконалення методу розрахунку ґрунтових схилів з урахуванням міської забудови (Кошляков, 2002).

Викладення основного матеріалу. У зв'язку з розширенням площі міст забудовуються ділянки, які раніше вважалися для цього непридатними. Проте використання цих територій, у тому числі природних схилів, може дати значний економічний і соціальний ефект. Однак такі схили можуть бути небезпечними щодо розвитку зсувів.

Одним з найважливіших чинників, що безпосередньо впливає на прогнози стійкості укосів при використанні його для будівництва, є достовірний розрахунок стійкості й адекватна інтерпретація його результатів залежно від вибору методу розрахунку. Аналіз стійкості схилів і укосів зводиться до визначення величини коефіцієнта стійкості, зсувного тиску, а також положення і форми лінії ковзання. Сучасні методи розрахунку стійкості укосів і схилів пропонують різні підходи для вирішення поставленого перед ними завдання, що відповідно дає підстави розглядати адекватність отриманих результатів і співвідношення між ними. Як приклад можна навести застосування ГІС для складання карти-схеми районування ділянки території правого схилу в межах м. Києва за ступенем зсувної небезпеки. Перевагою використання при цьому ГІС-технологій є можливість зіставлення різних за характером впливу чинників без залучення складного математичного апарату та наочна ілюстрація результатів.

Існуючі аналітичні та чисельні методи розрахунку, навіть в умовах сучасних удосконалень, дають різницю в значеннях отриманих результатів. Трактуються цих результатів і вдосконалення методів розрахунку – предмет для обговорення й аналізу багатьма вченими. Різноманіття існуючих методів розрахунку, різна складність їхнього виконання і неоднозначність результатів посилюють проблему, особливо що стосується коливання

рівня ґрунтових вод та його подальшого впливу на параметри стійкості.

Для розрахунків стійкості укосів і схилів на основі результатів інженерно-геологічних вишукувань використовуються встановлені дані про фізичні й міцнісні властивості ґрунтів для двох категорій – граничного стану за несучої здатності та деформацій відповідно. Залежно від виду розрахунку використовують одну з категорій з відповідними розрахунковими параметрами ґрунту. Згідно з вимогами нормативних документів беруться такі розрахункові характеристики ґрунту і зовнішнє навантаження, які забезпечують урахування найгірших умов.

Неправильні вхідні розрахункові величини характеристик ґрунтів за результатами інженерно-геологічних вишукувань призводять до виникнення похибок, унаслідок чого кінцеві результати розрахунків будуть неточними і мати зазвичай завищені значення. Останнє сприяє подальшому некоректному проектуванню споруд, що, у свою чергу, може призвести до небажаних ситуацій.

Таким чином, важливо визначити, як впливає використання різних значень розрахункових характеристик ґрунтів на розрахунок стійкості, і як на підставі цього правильно оцінити ситуацію з метою отримання найбільш достовірних результатів.

Дія підземних вод на стан зсувного схилу проявляється та враховується різними шляхами, викликаючи зміну напруженого стану масиву і фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також обумовлюючи розвиток фільтраційних деформацій (Гинзбург, 1986).

Перший підхід передбачає, що підземні води, насичуючи породи, змінюють їхні фізико-механічні властивості й зокрема міцнісні показники, зменшуючи опір гірських порід зсуву. Крім того, підземні води, змочуючи можливі поверхні ковзання, відіграють роль мастила і також впливають на зменшення сил тертя. У першому способі врахування гідростатичного зважування і гідродинамічної сили виконується окремо.

Другий спосіб виходить із того, що підземні води взважають мінеральний скелет гірських порід. Це викликає зменшення нормальних напружень у площині ковзання і може призвести майже до повного зняття тертя вздовж цієї поверхні. При цьому співвідношення між нормальним і дотичним напруженням уздовж всієї поверхні ковзання визначається відомим рівнянням Кулона (1) з урахування зменшення дотичного напруження по поверхні ковзання за рахунок утворення надлишкового тиску в поровому розчині (воді):

$$\tau = (\sigma - u) \tan \varphi + c, \quad (1)$$

де τ – дотичне напруження; σ – нормальне напруження; u – надлишковий тиск у поровому розчині (воді); c – розрахункове значення кута внутрішнього тертя; φ – розрахункові значення питомого зчеплення ґрунту.

За умови зростання порового тиску величина $(\sigma - u)$ може виявитися рівною нулю, і тоді опір породи зсуву буде залежати тільки від зчеплення c , без урахування кута внутрішнього тертя φ .

При такому підході врахування гідродинамічних і взважаючих сил ґрунтується на їхній заміні еквівалентними контурними силами і для практичних оцінок стійкості схилу є більш зручним. Для підтопленого схилу до формули мають додатково вводиться сили гідростатичного тиску, які перпендикулярні до затопленої поверхні схилу.

Підкреслимо, що й гідродинамічна і взважаюча сили є об'ємними, і тому можуть додаватися до власної ваги гірських порід. Гідростатичні і гідродинамічні сили визначаються за величиною та напрямком і підсумовуються по всьому зсувному тілу, виходячи з їхньої питомої

(об'ємної) інтенсивності. Гідростатичне зважування враховується при визначенні об'ємної ваги порід, що становлять зсувне тіло: вище рівня підземних вод власна вага зсуву встановлюється на основі використання об'ємної ваги порід за природної вологості, а вага частини зсуву розташованого між кривою депресії й поверхнею ковзання визначається з урахуванням зважування.

Інтенсивність і напрямки дії гідродинамічних сил установлюються по сітці фільтрації, яка може бути побудована в результаті аналітичних розрахунків або методом моделювання.

Важливим чинником, що впливає на стійкість схилів, є прояв фільтраційного тиску підземних вод. Фільтраційний тиск виникає за умови руху підземних вод, наявності градієнта, ухилу поверхні ґрунтових вод. Зазвичай підземний потік спрямований в напрямку поверхні схилу, при цьому товща, що становить схил, зазнає впливу фільтраційного тиску, який збігається із зсувним тиском. Відповідно фільтраційний тиск є одним із факторів, що спричиняє розвиток зсувних процесів. Крім фільтраційного тиску, потік підземних вод також сприяє процесам колюматції й суфозії ґрунтів, які, у свою чергу, можуть впливати на стійкість схилів. За рахунок колюматції може збільшуватися поровий тиск, за рахунок суфозії відбувається розуцільнення та зниження міцнісних характеристик ґрунтів.

Дію фільтраційного тиску можна розглянути для випадку, коли через нахилений пласт гірських порід, що залягає на водотриві, паралельному поверхні, фільтрується водний потік, який повністю заповнює пласт, і лінії течії води паралельні поверхні укосу (рис. 1). Цей випадок є найбільш простим, але дозволяє наочно представити суть процесу, який розглядається і, крім того, має практичне значення, тому що використовується при розв'язанні задач про стійкість зсувних схилів як одне із припущень (Koshliakov *ma in.*, 2017).

За умови, коли вода повністю насичує пори нахиленого пласта, верхня лінія течії збігається з поверхнею схилу, а нижня – з площиною ковзання. Тоді різниця напорів h між двома еквіпотенціальними лініями дорівнюватиме різниці відміток точок, розташованих на якій-небудь лінії течії $\Delta h = z_1 - z_2$. Відповідна довжина лінії току дорівнюватиме

$$\Delta l = \Delta h / \sin \beta = (z_1 - z_2) / \sin \beta, \quad (2)$$

де β – кут нахилу лінії течії. А гідралічний градієнт дорівнюватиме

$$I = \Delta h / \Delta l = \sin \beta. \quad (3)$$

Оскільки нахил поверхні ковзання і нахил лінії течії збігаються, тобто $\alpha = \beta$, то градієнт $I = \sin \alpha$.

Гідродинамічний (фільтраційний) тиск на одиницю об'єму гірських порід дорівнює градієнту, помноженому на об'ємну вагу води γ_e .

$$f = I \gamma_e = \gamma_e \sin \alpha, \quad (4)$$

а загальний тиск на скелет гірської породи об'ємом V буде дорівнюватиме

$$\Phi = V \gamma_e \sin \alpha. \quad (5)$$

Цей тиск спрямований вздовж лінії течії, а в нашому випадку і вздовж поверхні укосу і ковзання і є зсувною силою.

За умови рівноваги деякого об'єму V нахиленого пласта водонасичених гірських порід вага гірської породи в об'ємі V з урахуванням зважування дорівнює

$$P = (\gamma - \gamma_e) V, \quad (6)$$

де γ – об'ємна вага водонасиченої породи.

Тоді зсувна складова S цієї ваги направлена паралельно поверхні ковзання вниз і дорівнює

$$S = P \sin \alpha = (\gamma - \gamma_e) V \sin \alpha. \quad (7)$$

Нормальна до поверхні ковзання складова

$$N = P \cos \alpha = (\gamma - \gamma_e) V \cos \alpha. \quad (8)$$

Загальна зсувна сила складається із зсувної складової ваги і гідродинамічного тиску ($S + \Phi$), а утримуюча сила дорівнює силі тертя

$$T = N \tan \varphi = (\gamma - \gamma_e) V \cos \alpha \tan \varphi, \quad (9)$$

але за умови відсутності зчеплення. У протилежному випадку слід врахувати силу зчеплення $C = cl$, де l – довжина поверхні ковзання, на яку спирається блок.

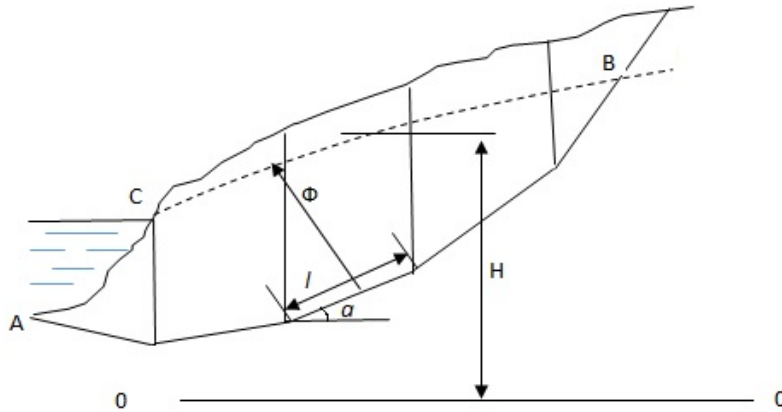


Рис. 1. Схема для визначення гідродинамічного тиску:

AB – поверхня ковзання; СВ – крива депресії; Н – гідродинамічний напір; α – кут нахилу поверхні ковзання; l – довжина дуги ковзання; Φ – фільтраційні сили

Коефіцієнт стійкості пласта об'ємом V дорівнює відношенню утримуючих сил до зсувних

$$K_y = \frac{(\gamma - \gamma_e) V \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{(\gamma - \gamma_e) V \sin \alpha + V \gamma_e \sin \alpha} = \frac{(\gamma - \gamma_e) \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{\gamma \sin \alpha} = \frac{(\gamma - \gamma_e)}{\gamma} \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}. \quad (10)$$

За відсутності фільтраційного і зваженого тиску цей коефіцієнт дорівнює

$$K_y = \frac{N \cdot \tan \varphi}{S} = \frac{\gamma V \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{\gamma \sin \alpha} = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}. \quad (11)$$

Отже, за умови насичення водою гірських порід, що становлять схил, коефіцієнт стійкості знижується у $\gamma/(\gamma - \gamma_e)$ разів, тобто у стільки разів, у скільки вага скелета ґрунту в повітрі більше ваги скелета ґрунту, зваженого у воді.

Оцінка впливу гідростатичного зважування і гідродинамічного тиску може бути здійснена принаймні двома різними, але рівнозначними способами. В обох способах зсувні характеристики гірських порід вздовж поверхні ковзання беруться за умови їхнього повного водонасичення. Тому обґрунтоване визначення прогнозного розташування рівня підземних вод при визначенні стійкості масиву є важливим практичним завданням.

Прогноз рівня підземних, у першу чергу, ґрунтових вод може бути виконаний або за допомогою статистичного моделювання, або детермінованого.

Так, наприклад, статистична модель була застосована Е.Д. Кузьменком та ін. (Кузьменко та ін., 2017). Тут для визначення рівня ґрунтових вод використана отримана авторами за даними режимних спостережень залежність між рівнем ґрунтових вод і величиною атмосферних опадів. При застосуванні статистичної моделі слід урахувати, що її точність напряму залежить від тривалості та кількості режимних спостережень, а завдання виявлення та правильної інтерпретації чинників формування рівня є доволі складним. Крім того, можлива поява в майбутньому нового чинника (напр., утрати з технічних водних комунікацій) у такій моделі не врахована.

У випадку детермінованого моделювання прогнозне розташування поверхні ґрунтових вод однозначно визначається шляхом розв'язання диференціального рівняння геофільтрації (крайової задачі геофільтрації). Але й тут виникає проблема точної інтерпретації чинників формування рівня. Розглянемо це питання докладніше.

Наприклад, згідно з передумовою Дююї реальний тривимірний потік підземних вод з практичних позицій можна розглянути як двовимірний (плановий), що значно спрощує математичний опис (Кошляков, 2002). Для потоку ґрунтових вод (безнапірного потоку) рівняння має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \cdot h \frac{\partial \square}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \cdot h \frac{\partial \square}{\partial y}) + W = \mu \frac{\partial \square}{\partial t}, \quad (12)$$

де K_x , K_y – коефіцієнти фільтрації шару в напрямках осей координат; h – потужність потоку ґрунтових вод; W – інтенсивність інфільтраційного живлення потоку; μ – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі гірської породи.

Для умов усталеного руху потоку рівняння (1) перетворюється в таке:

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \cdot h \frac{\partial \square}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \cdot h \frac{\partial \square}{\partial y}) + W = 0. \quad (13)$$

Параметри рівнянь (2) і (3) зазвичай на практиці визначаються шляхом розв'язання оберненої задачі. При цьому часто береться, що $K_x = K_y = K = \text{const}$ (однорідний чи кусково-однорідний потік). У такому разі в результаті розв'язання маємо комплексний параметр W/K , що застосовується у прямій задачі для прогнозного визначення рівня ґрунтових вод.

Слід звернути увагу, що рівень ґрунтових вод визначається однозначно при різних величинах K та W , які дають однаковий сумарний результат W/K . Тому неясно, який чинник формування рівня ґрунтових вод – живлення за площею (визначається W) чи боковий приплив (визначається K) є домінуючим. Ця неоднозначність не дозволяє обґрунтовано пропонувати запобіжні інженерні заходи з регулювання рівня ґрунтових вод.

Як приклад можна розглянути ситуацію на ділянці території біля Успенського Собору Києво-Печерської Лаври. За даними (Кошляков, 2002), величина W/K становить приблизно 0,0002, а коефіцієнт фільтрації K приблизно

дорівнює 0,05 м/добу. Відповідно інтенсивність інфільтраційного живлення W становить 0,00001 м/добу, отже, питомий боковий приплив дорівнює 0,00675 м²/добу. Але якщо коефіцієнт фільтрації K взяти рівним 0,01 м/добу (що також добре погоджується з вивченістю літолого-гідрогеологічною розрізу), інтенсивність інфільтраційного живлення W становитиме 0,000002 м/добу, а питомий боковий приплив зменшиться у п'ять разів (становитиме 0,00135 м²/добу). Таким чином, занижене порівняно з прийнятим значення коефіцієнта фільтрації призведе до помилково заниженої оцінки ролі живлення за площею (зокрема, негативної ролі техногенного живлення внаслідок утрат з водних комунікацій) та питомого бокового припливу, що в подальшому віддзеркалиться на обґрунтованості запропонованих запобіжних інженерних заходів.

На сьогодні суттєве живлення ґрунтових вод на території міст відбувається за рахунок техногенних факторів, зокрема за рахунок утрат з водопровідної та каналізаційної мереж, а також інфільтрації техногенних вод. За даними Київського НДІ загальної та комунальної гігієни ім. Марзеєва, (Мироненко, Шестаков, 1986) втрати водопровідної води становлять 121–181 тис. м³/добу або 10–14 % від кількості води, спрямованої на водоподачу, а втрати води промисловими підприємствами (за даними Укрводканалпроекта) становлять близько 149 м³/добу або 7,1 % від водоспоживання. Слід зазначити, що величина втрат з водопровідних і каналізаційних мереж збільшується зі збільшенням часу експлуатації останніх.

За даними досліджень авторів у Києві втрати з водних мереж становлять 45–55 %. У межах міст ґрунтові води отримують більшу величину живлення за рахунок техногенних факторів, ніж та, яку може отримати потік за рахунок атмосферних опадів у природних умовах (Koshlyakov et al., 2010). До того ж, це живлення не є рівномірним, а зосереджене відповідно до розміщення джерел поповнення і викликає підйом рівнів ґрунтових вод на локальних ділянках. Виходячи з обмеженості за площею таких ділянок і відсутності спостережної мережі, виявити такі ділянки досить складно. Але вони виявляються в результаті накладання карт-схем гідроізогіпс і карт-схем водопровідних і каналізаційних мереж за допомогою ГІС.

Висновки

1. Подальше підвищення достовірності й точності результатів розрахунків стійкості укосів і схилів у першу чергу залежить від вдосконалення методів визначення водно-фізичного стану ґрунтів і гідродинамічних особливостей руху підземних вод, а не від удосконалення математичних методів розрахунку.

2. Традиційне визначення вхідних гідрогеологічних параметрів для подальших розрахунків шляхом розв'язання

обернених задач або за допомогою непрямих методів не дозволяє обґрунтовано пропонувати запобіжні інженерні заходи з регулювання рівня ґрунтових вод. Так, занижене, порівняно з дійсним, значення коефіцієнта фільтрації може призвести до помилково заниженої оцінки ролі живлення за площею (зокрема негативної ролі техногенного живлення внаслідок утрат з водних комунікацій).

3. Першочерговим практичним завданням з оцінки стійкості схилів на сьогодні є вивчення в натурних умовах величини інтенсивності інфільтраційного живлення підземних вод і динаміки руху вологи в зоні аерації. Визначення лише вологості ґрунтів і динаміки рівня підземних вод, як це робиться сьогодні, в умовах техногенного впливу є недостатнім.

Список використаних джерел

- Гинзбург, Л.К. (1986). Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона оползневого давления. М.: СБНТИ.
- Кошляков, О. (2002). Оцінка наслідків баражного ефекту від паль фундаменту Успенського Собору. Вісник Київського національного університету. Геологія, 22, 123 – 126.
- Кузьменко, Э., Давыбида, Л., Зинченко, В., Никиташ, А., Яковлев, Е. (2017). Источники питания и динамика уровней грунтовых вод на правом берегу Киевского водохранилища. Вісник Київського національного університету. Геологія, 76, 66 – 74.
- Мироненко, В.А., Шестаков, В.М. (1986). Основы гидрогеомеханики. Москва.
- Koshlyakov, O., Dyniak, O., Koshlyakova, I. (2017). Tehnogenic infiltration nutrition component under groundwater as a factor the emergence and activation of dangerous exogenous processes in industrial and city agglomerating territories. Abstract of XI International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of Environment, Kyiv, Ukraine.
- Koshlyakov, O., Mokienko, V., Dyniak, O., Koshlyakova, I. (2010). Estimation of intensity of infiltration feed of subsoil waters on territory Kyiv from data of design of geofiltration. Abstract of 9-th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kiev, Ukraine.

References

- Ginzburg, L.K. (1986). Recommendations on the choice of methods for calculating the coefficient of slope stability and landslide pressure. M.: CBNTI. [in Russian]
- Koshlyakov, O. (2002). An assessment of the effects of the barrage's effect from the piles of the Uspensky Cathedral. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 22, 123-126. [in Ukrainian]
- Koshlyakov, O., Dyniak, O., Koshlyakova, I. (2017). Tehnogenic infiltration nutrition component underground water as a factor the emergence and activation of dangerous exogenous processes in industrial and city agglomerating territories. Abstract of XI International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of Environment, Kyiv, Ukraine.
- Koshlyakov, O., Mokienko, V., Dyniak, O., Koshlyakova, I. (2010). Estimation of intensity of infiltration feed of subsoil waters on territory Kyiv from data of design of geofiltration. Abstract of 9-th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kiev, Ukraine.
- Kuzmenko, E., Davybid, L., Zinchenko, V., Nikitash, A., Yakovlev, E. (2017). Power sources and dynamics of groundwater levels on the Right bank of the Kyiv reservoir. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 76, 66-74. [in Russian].
- Mironenko, V.A., Shestakov, V.M. (1986). Fundamentals of hydrogeomechanics. M. [in Russian]

Надійшла до редколегії 16.08.18

O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Head of the Department,
E-mail: kosh57@ukr.net
O. Dyniak, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: oksdyn @ukr.net
I. Koshliakova, Leading Engineer,
E-mail: irkos@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine
T. Koshliakova, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: geol@bigmir.net
SI "Institute of Environmental Geochemistry National Academy of Sciences of Ukraine"
34-a Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

HYDROGEOLOGICAL PECULIARITIES OF CALCULATION OF SCARPS AND SLOPES STABILITY WITHIN URBANIZED TERRITORIES

The article considers the issue of groundwater influence on scarps and slopes stability. The relevance of the study is caused by the tendency to increase the frequency of appearance of exogenous geological processes due to technogenic impact. Timely detection of hazardous areas and application of measures to prevent the development of landslide processes will avoid significant damages. An important factor that directly affects

forecasting is a reliable calculation of the stability and an adequate interpretation of the results, depending on the choice of the calculation method. Different methods of calculation, different complexity of their implementation and uncertainty of the results aggravate the problem, especially with regard to groundwater levels fluctuations and their further influence on sustainability parameters. The existing methods for calculating scarps and slopes stability, in particular taking into account temporary changes of groundwater levels, are analyzed. This study proves that the further increase in the reliability and accuracy of the results of calculations primarily depends on the improvement of methods for determining the water-physical state of soils and hydrodynamic features of groundwater movement. The authors provide evidence of the necessity to take into account intensity value of infiltration recharge at the predictive assessment of groundwater level. The role of anthropogenic component of infiltration recharge due to losses from water communications, especially in local areas, is investigated, which in the future will be reflected in engineering measures justification.

Keywords: infiltration, scarps and slopes stability, groundwater, infiltrational recharge.

А. Кошляков, д-р геол. наук, проф., зав. каф.,

E-mail: kosh57@ukr.net

О. Диняк, канд. геол. наук., доц., E-mail: oksdyn@ukr.net

И. Кошлякова, вед. инж., E-mail: irkos@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

Т. Кошлякова, канд. геол. наук, старш. науч. сотр.,

E-mail: geol@bigmir.net

ГУ "Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины"

пр. Палладина, 34-а, г. Киев-142, 03680, Украина

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ В ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗОВАННЫХ ТЕРИТОРИЙ

Рассматривается вопрос учета влияния подземных вод на устойчивость откосов и склонов. Актуальность исследования вызвана тенденцией увеличения частоты проявлений экзогенных геологических процессов вследствие техногенного воздействия. Своевременное выявление опасных участков и применение мер с целью предотвращения развития оползневых процессов позволит избежать значительных убытков. Важным фактором, который непосредственно влияет на прогноз, является достоверный расчет устойчивости и адекватная интерпретация результатов в зависимости от выбора метода расчета. Различные методы расчетов, разная сложность их выполнения и неоднозначность результатов усугубляют проблему, особенно это касается колебания уровня грунтовых вод и их дальнейшего влияния на параметры устойчивости. Проанализированы существующие методы расчета устойчивости откосов и склонов, в частности с учетом временных изменений уровня грунтовых вод. Доказывается, что дальнейшее повышение достоверности и точности результатов расчетов в первую очередь зависит от совершенствования методов определения водно-физического состояния почвы и гидродинамических особенностей движения подземных вод. Авторами обоснована необходимость учета величины интенсивности инфильтрационного питания подземных вод при прогнозной оценке уровня подземных, особенно грунтовых вод. Исследована роль техногенной составляющей инфильтрационного питания вследствие потерь из водных коммуникаций, особенно на локальных участках, что в дальнейшем отражается на обосновании мер инженерных мероприятий.

Ключевые слова: инфильтрация, устойчивость откосов и склонов, грунтовые воды, инфильтрационное питание подземных вод.

УДК 556.314:(628.1+631.6)

Д. Чарний, д-р техн. наук, старш. наук. співроб.,
гол. наук. співроб., E-mail: dmitrych10@gmail.com
Інститут водних проблем і меліорації НААНУ
вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна
О. Шевченко, д-р геол. наук, старш. наук. співроб., проф.,
E-mail: shevch62@gmail.com
В. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ НОВОУТВОРЕНЬ НА ФІЛЬТРАЦІЙНОМУ СУБСТРАТІ ПРИ ОЧИЩЕННІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД ЗАЛІЗА І МАРГАНЦЮ

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

Мета. Установити склад і властивості мінеральних новоутворень, сформованих на поверхні гранул зернистого фільтрувального завантаження в процесі очищення підземних вод від заліза і марганцю та визначити можливості їхнього використання для підвищення ефективності водоочищення.

Методика. Для встановлення речовинного складу новоутворених кірок використано рентгенівську дифрактометрію та рентген-флуоресцентну спектрометрію. Товщина новоутворених кірок визначалась методом механічної мікрометрії. Вміст заліза та марганцю встановлювався аналітичними методами шляхом вилуговування і визначення цих компонентів у розчині. Обробка отриманих результатів і графічна інтерпретація даних виконана із застосуванням пакетів LibreOffice Calc, Gnumeric та PSP.Р.

Результати. Визначено мінеральний склад та основні фізико-хімічні властивості залізомарганцевих кірок, їхні метричні розміри та масу. Манганооксидоліти, що утворюють кірки, характеризуються дисперсністю. У багатьох випадках формується аморфна суміш, у кристалічній фазі утворюється водний оксид дво- і чотиривалентного марганцю – тодорокіт. Характер новоутворень визначається співвідношенням концентрацій Mn/Fe у воді. Результати вимірів кірок, що утворились на гранулах фільтрувального завантаження за 10–20-денний термін роботи станції водопідготовки у м. Узин такі: товщина $0,518 \pm 0,209$ мм, маса $0,0039 \pm 0,0004$ г, вміст загального Mn і загального Fe, відповідно, становить $115,59 \pm 4,33$ мг/дм³ і $55,33 \pm 30,85$ мг/дм³. Вміст марганцю і заліза, які були вилуговані з кірок фільтрувального завантаження станції очищення води в с. Червона Слобода, за той самий термін становив, відповідно: $55,067 \pm 10,946$ мг/дм³ і $100,476 \pm 4,284$ мг/дм³.

Наукова новизна. Уперше на станціях водопідготовки досліджено склад і параметри мінеральних новоутворень на поверхні фільтрувального завантаження. Вони являють собою каталітичні кірки (плівки) із залізомарганцевих сполук, серед яких у значній кількості присутні вищі оксиди марганцю. Доведено, що утворені кірки ще більше посилюють видалення з води наднормового вмісту заліза та марганцю, а також інших низьковалентних катіонів, таких як Ca^{2+} і Br^{2+} .

Практична значимість. Базуючись на відомих геобіохімічних циклах заліза та марганцю, отримано нову технологію водопідготовки, а також новий фільтруючий матеріал зі значним потенціалом подальшого вдосконалення та застосування, що на відміну від класичних технологій деманганзації не вимагає залучення додаткових реагентів при окисненні $\text{Mn(II)} \rightarrow \text{Mn(IV)}$.

Ключові слова: підземні води, залізомарганцеві кірки, знезалізнєння, деманганзація, тодорокіт.

Вступ (постановка проблеми та теоретичні положення). Підземні води на території України часто мають понаднормовий (ДСанПін 2.2.4-171-10, 2010) вміст розчинних сполук Fe^{2+} , Mn^{2+} та H_2S . Понад 50 % водозабірних свердловин України постачають воду з підвищеною концентрацією Fe і H_2S , близько 15 % свердловин, крім заліза і сірководню мають також підвищену концентрацію Mn (Сташук, 2009). Високий вміст цих компонентів характерний для вод шахтних колодязів на Поліссі та в Полтавській області. Для використання подібних вод у господарсько-питних цілях необхідна їхня попередня підготовка. Існує велика кількість способів очищення подібних вод, що описані в літературі (Николадзе, 1978; Copper, 1989; Кульський і Строкач, 1986; Золотова і Асс, 1975; Ellis D. and all, 2000; Журба і др., 2006; Квартенко, 2009; Орлов, 2008; Мачехина і др., 2013; Хоружий і др., 2008; Чернова, 2014; Чарний, 2011; Чарний, 2012; Чарний, 2017). Більшість із цих робіт присвячено фізико-хімічним процесам за участі додаткових реагентів, які забезпечують зниження наднормативних концентрацій цих сполук. Дещо менше є робіт з біологічної обробки подібних вод за допомогою хемолітотрофної мікробіоти. У роботі Д.В. Чарного (Чарний, 2017) теоретично, експериментально і практично доведено можливість використання відразу двох безреагентних процесів – біотичного та абіотичного. Вони відбуваються паралельно і конкурують між собою при переведенні розчинних сполук Fe^{2+} і Mn^{2+} до нерозчинних форм. При такому очищенні води відбувається бурхливе і дуже швидке утворення залізомарганцевої кірки (надалі 3М кірки) на поверхні субстрату.

Методи досліджень і прилади. У процесі дослідів вивчалися фізико-хімічні властивості залізомарганцевих кірок, а також їхня кристалічна будова. Для цього проводилися вимірювання товщини кірки на поверхні гранули за допомогою мікрометра МІКРОТЕХ МК-25, також визначалась маса кірок.

Аналітичним методом за допомогою вилуговування встановлювався вміст заліза і марганцю у відкладах. Ці дослідження проводились в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Вилуговування іонів заліза з гранул фільтрувального завантаження проводили водним розчином соляної кислоти (знімали плівку заліза з поверхні гранул). Одночасно проводили три серії експериментів: у кожну із трьох пробірок з 1 г гранул додавали по 2,5 см³ дистильованої води і 30 см³ розчину HCl 1 : 1 при нагріванні на водяній бані до 70 °С.

При вилуговуванні іонів марганцю з гранул фільтрувального завантаження також паралельно проводили три серії експериментів. У кожну із трьох пробірок з 1 г гранул додавали 2,5 см³ дистильованої води і 15 см³ водного розчину азотної кислоти HNO_3 (1 : 1) і 2,5 см³ розчину пероксиду водню H_2O_2 з концентрацією 5 % по краплинах. Після відділення з гранул марганцевої плівки гранули вилучали з розчину для висушування і зважування.

Для визначення концентрації іонів марганцю в розчині, утвореному при розчиненні плівки з поверхні гранул, додавали ще 10 см³ розчину HNO_3 (1 : 1) і випарювали протягом 20 хв при подальшому додаванні 7,5 см³ розчину пероксиду водню з концентрацією 5 % по краплинах. Після повного розчинення відокремленого від гранул осаду проводили фотометричне визначення

концентрації іонів марганцю в даному розчині за методикою ГОСТ 4974-72.

Для визначення елементного складу кірки застосовано рентгенфлуоресцентну спектроскопію за допомогою обладнання ElvaX компанії "Елватех" за фірмовою методикою.

Фазовий склад 3М кірки досліджували методом рентгенівської дифрактометрії на установці ДРОН-УМ1 у монохроматичному $\text{Cu-K}\alpha$ -випромінюванні (лабораторія Політехнічного університету ім. І. Сікорського, аналітик д-р техн. наук М.В. Корець). Як монохроматор використовували встановлений на дифрагованому пучку монокристал графіту. Обробку даних проводили з використанням програми для повнопрофільного аналізу дифракційних картин PowderCell 2.4.

Результати досліджень та їхнє обговорення. У нашому випадку субстратом є зерна фільтрувального завантаження із гранул пінополістиролу. Швидкість утворення візуальної кірки – 10–25 діб. Раніше фільтраційне завантаження піддавалось регулярному промиванню з видаленням цих кірок. Проте ми вважаємо, що утворені кірки видаляти недоцільно, оскільки у свою чергу вони повинні стати каталізатором переходу $\text{Mn(II)} \rightarrow \text{Mn(IV)}$ та $\text{Fe(II)} \rightarrow \text{Fe(III)}$ і відповідно сприяти пришвидшенню переведення розчинних форм у нерозчинний стан з подальшим їхнім затриманням у товщі фільтрувального завантаження. Процес утворення 3М кірки схематично наведено на рис. 1.

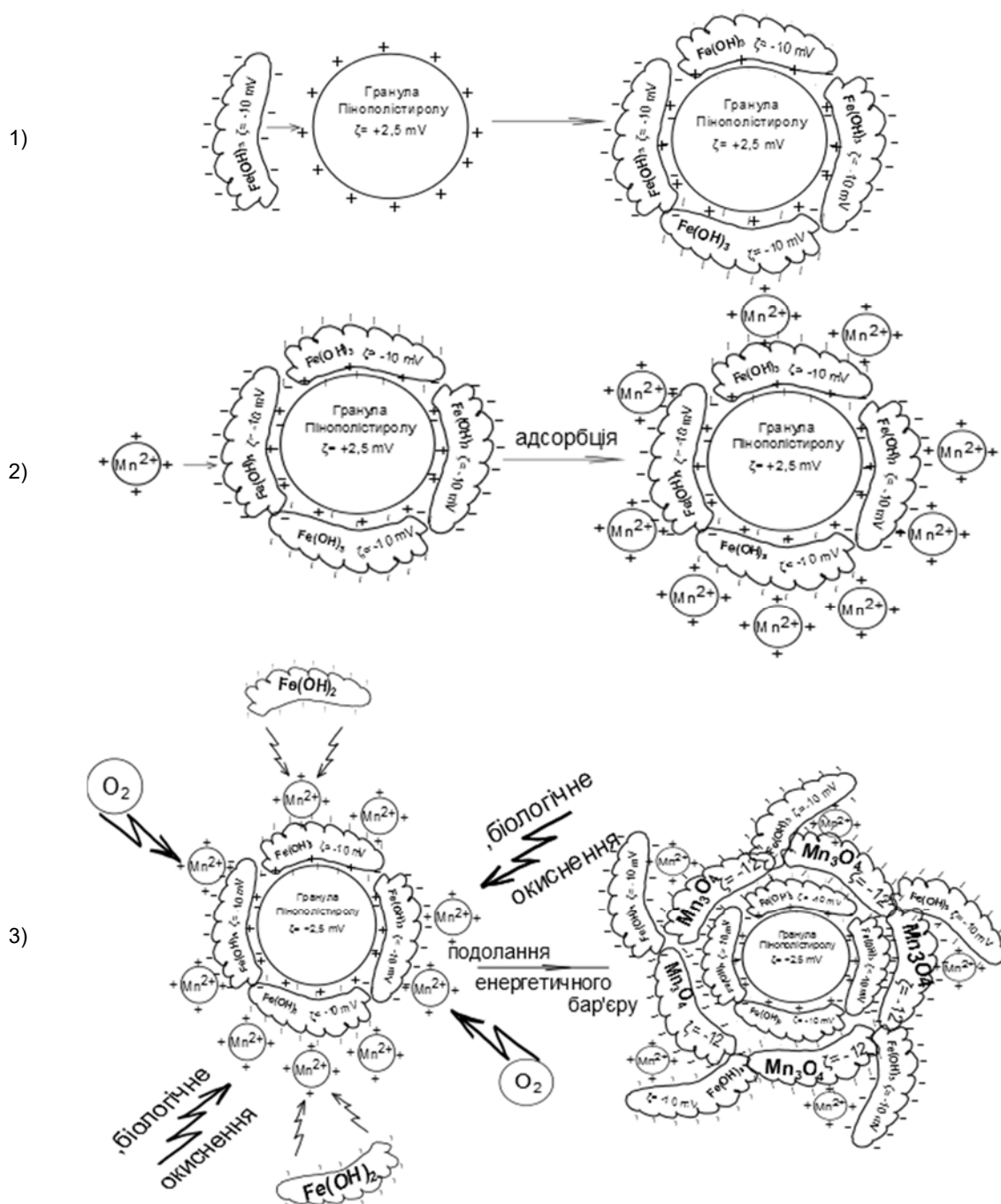
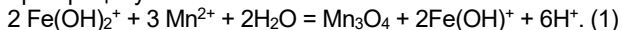
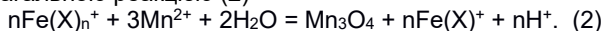


Рис. 1. Схема процесу утворення каталітичної 3М кірки із вмістом вищих оксидів марганцю на гранулах пінополістиролу

За даними Дж. Хем, гідроксокомплекс $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ може виступати окиснювачем для Mn^{2+} відповідно до реакцій (1), тобто він відіграє роль абіотичного каталізатора процесу окиснення Mn^{2+} :



При термодинамічному моделюванні процесу аерації підземної води з водозабору м. Узин виявлено, що при окисненні Fe^{2+} до Fe^{3+} атмосферним киснем утворюється ціла низка сполук Fe^{3+} , у тому числі $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Фактично Fe^{3+} стає окиснювачем-каталізатором і сприяє окисненню Mn^{2+} з подоланням енергетичного бар'єра за загальною реакцією (2)



Як зазначає Дж. Хем, "щоб отримати істотний каталітичний ефект у системі, де присутні лише малі концентрації розчиненого заліза, механізм ре циклізації, в якому FeOH^+ конвертується в $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ киснем і вертається назад в FeOH^+ шляхом реакції з Mn^{2+} , має бути відносно швидким" (Grevin, 1963, Grevin, 1977). Фактично, у шарі завислого осаду формуються умови, за яких, завдяки підвищеній концентрації заліза в найрізноманітніших формах і сполуках значно підвищується вірогідність каталітичного контакту іона Mn^{2+} з $n \text{Fe}(\text{X})_n^+$, відповідно, початку подолання енергетичного бар'єра.

Після цього завдяки навіть лише різниці фаз "рідка-тверда" можлива адсорбція на поверхні твердої фази каталізованого іона Mn^{2+} . У наших дослідженнях твердою фазою є фільтрувальне завантаження з гранул пінополістиролу, яке до того ж має додатний ζ потенціал. За даними Anne-Catherine Grevin (Grevin, 2016), він дорівнює $(+2,1 \pm 0,4)$ мВ. Відповідно на поверхні гранул активно адсорбуються від'ємно заряджені колоїди $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ζ потенціал яких становить близько $(-8 \div 10)$ мВ. Вони активно формують навколо гранули пінополістиролу фeroжедритну оболонку. Але при підвищених концентраціях заліза і різноманітності його форм і сполук у шарі зваженого осаду каталізований катіон Mn^{2+} активно адсорбується на поверхні аморфного колоїду $\text{Fe}(\text{OH})_3$, додатково каталізуючись. При цьому концентрація іонів марганцю підвищується і, відповідно, збільшується вірогідність його контакту з розчинним киснем.

Оскільки в процесі окиснення Fe^{2+} до Fe^{3+} змінюється ηH_2 (у даному випадку, він змінився від 17,16 вихідної води до 18,53), тобто середовище стає сприятливішим для розвитку залізобактерій (Муше і Герасимов, 2006) і, відповідно, у процес окиснення Mn^{2+} за відсутності Fe^{2+} активно підключаються залізобактерії. Отже, на поверхні шару аморфного фeroжедриту починає формуватися шар з вищих оксидів марганцю – Mn_3O_4 . У процесі його формування відбувається ущільнення аморфного фeroжедриту. Потенціал ζ поверхні з вищих оксидів марганцю $\sim (-9,33 \pm 0,341)$ мВ. Вони ще активніше за фeroжедрит сорбують на свою поверхню катіони Mn^{2+} , активно їх каталізують і окиснюють. При цьому позитивно заряджений катіон Mn^{2+} сприяє сорбції від'ємно заряджених колоїдів $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Таким чином, на поверхні пінополістирольної гранули формується 3М кірка з каталітичними властивостями щодо окиснення Mn^{2+} і Fe^{2+} .

Вивчалися 3М кірки, що утворилися на гранулах фільтрувального завантаження двох станцій очищення підземних вод: 1 – у місті Узин Білоцерківського р-ну Київської області, 2 – у селі Червона Слобода Макарієвського р-ну Київської обл. В обох випадках оброблялась вода з водоносного горизонту у піщаних відкладах бучацької серії еоцену. Вода із свердловин кожного водозабору змішується в загальному колекторі. Усереднені показники аналізу суміші вод із свердловин наведено в табл. 1, 2.

Для визначення метричних розмірів кірки за допомогою мікрометра проведено виміри на десяти гранулах фільтрувального завантаження – по три на кожну гранулу. Вимірювання проводили до вилугування, тобто з кіркою манганоксидоліту, і після вилугування – без неї. Результати вимірів кірки з гранул фільтрувального завантаження станції водопідготовки м. Узин такі: товщина – $0,518 \pm 0,209$ мм при $P = 0,95$ і $\epsilon = 40,347$ %; маса: $0,0039 \pm 0,0004$ г при $P = 0,95$ і $\epsilon = 10,256$ %. Виміряти товщину кірок з гранул станції очищення води с. Червона Слобода не вдалося, оскільки структури, сформовані на поверхні гранул пінополістиролу, були надто "пластично-крихкими" для механічного вимірювання мікрометром. Загальна маса кірки на такій самій кількості гранул, що і в попередньому випадку, становила: $0,841 \pm 0,049$ г при $P = 0,95$ і $\epsilon = 5,863$ %.

Таблиця 1

Хімічний склад підземних вод водозабору Червонослобідського спиртозаводу в с. Червона Слобода Макарієвського р-ну Київської області

Загальна твердість, мг-екв./дм ³	pH	Eh, mV	Окиснюваність O, мг/дм ³	Fe _{заг.} , мг/дм ³	Mn _{заг.} , мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³	K ⁺ , мг/дм ³
7,7	7,47	89	3,7	1,3	0,17	21,7	2,2
Mg ²⁺ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³
17,4	86,8	393,9	7,7	32,5	1,2	0,1	0,74
Загальна мінералізація, мг/дм ³			F, мг/дм ³		заг. SiO ₂ , мг/дм ³		
576,4			0,2		9,8		

Таблиця 2

Хімічний склад підземних вод водозабору м. Узин Київської області

Загальна твердість, мг-екв./дм ³	pH	Eh, mV	Окиснюваність O, мг/дм ³	Fe _{заг.} , мг/дм ³	Mn, мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³	K ⁺ , мг/дм ³
6,9	7,45	85	0,4	2,1	0,5	22,3	1,8
Mg ²⁺ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³
15,2	82,6	372,2	7,1	28,8	1,2	0,1	1,5
Загальна мінералізація, мг/дм ³			F, мг/дм ³		заг. SiO ₂ , мг/дм ³		
538,4			0,18		16,13		

Вміст заліза і марганцю, які були вилугувані з кірок фільтрувального завантаження станції очищення води м. Узин, такі: концентрація марганцю –

$115,593 \pm 4,332$ мг/дм³ при $P = 0,95$ і $\epsilon = 3,747$ %; загального заліза – $55,333 \pm 30,853$ мг/дм³ при $P = 0,95$ і $\epsilon = 55,777$ %.

Вміст заліза і марганцю, які були вилугувані з кірок на станції водопідготовки с. Червона Слобода: концентрація марганцю – $55,067 \pm 10,946$ мг/дм³ при $P = 0,95$ і $\varepsilon = 19,878$ %; загального заліза – $100,476 \pm 4,284$ мг/дм³ при $P = 0,95$ і $\varepsilon = 4,264$ %.

Результати рентгенофлуоресцентної спекторметрії щодо визначення елементного складу кірок наведено у вигляді спектрограм (рис. 2, 3).

На спектрограмі (рис. 2) спостерігаються два великі піки заліза та марганцю, а також присутні невеликі піки кальцію і бром.

На спектрограмі (рис. 3) є один великий пік заліза та середні піки заліза і марганцю, а також присутні невеликий пік бром і дуже незначні кальцію (лінія 3,7 eV) і кобальту (лінія 8,0 eV). Згідно зі спектрограмами вміст елементів (%) на фільтрувальному завантаженні станції колонного типу в с. Червона Слобода (рис. 3) виглядає таким чином: Ca – 0,36; Mn – 13,12; Fe заг. – 85,88; Br – 0,64.

Дифрактограми фазового складу кірок на фільтрувальному завантаженні станцій м. Узин і с. Червона Слобода наведено на рис. 4, 5.

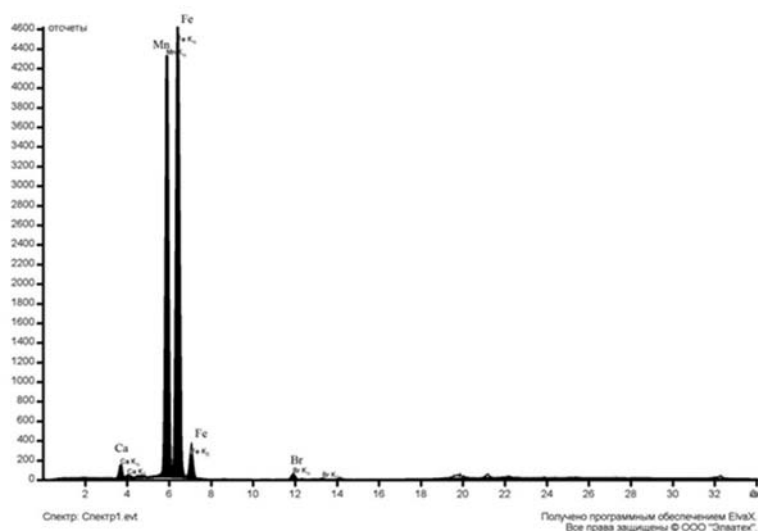


Рис. 2. Спектрограма кірки гранул фільтрувального матеріалу зі станції водопідготовки м. Узин

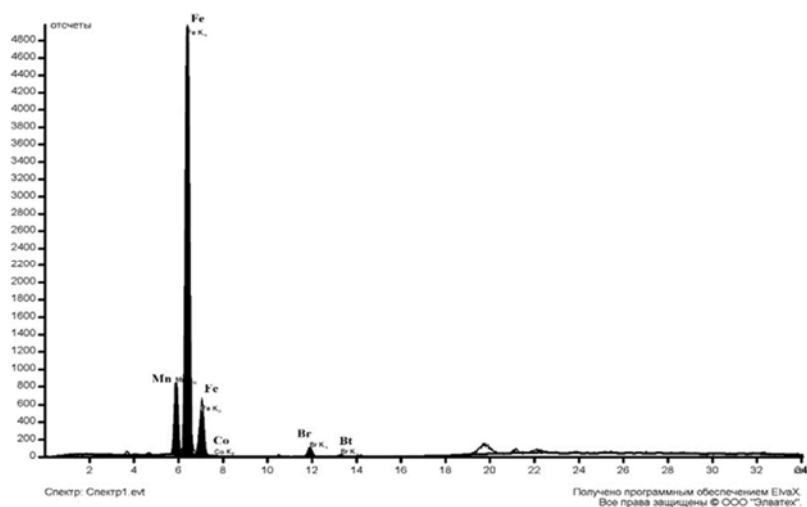
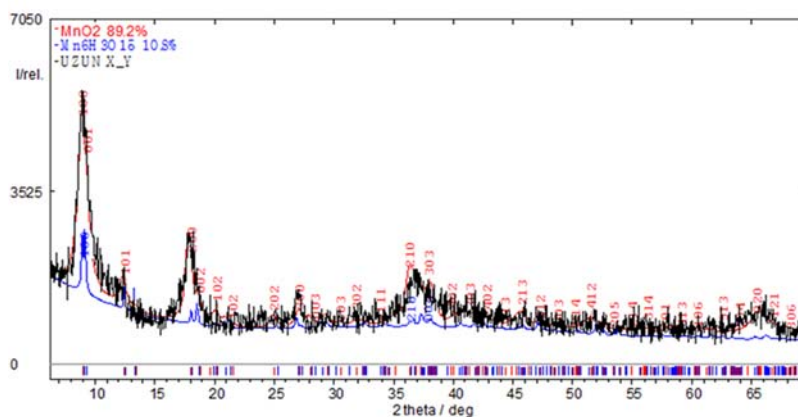


Рис. 3. Спектрограма кірки гранул фільтрувального матеріалу зі станції водопідготовки с. Червона Слобода



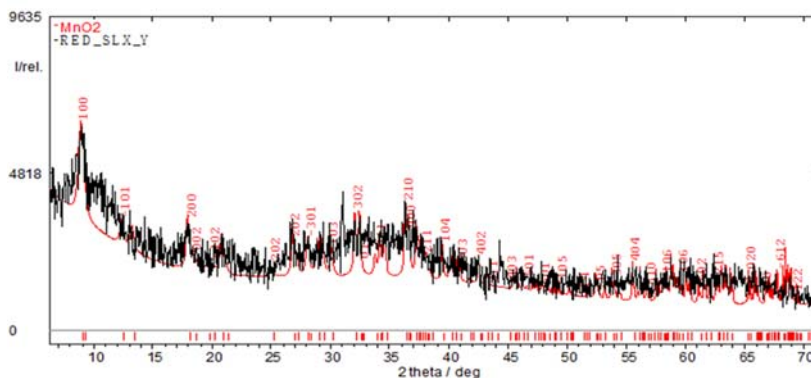


Рис. 5. Дифрактограма 3М кірки з гранул фільтрувального завантаження станції водопідготовки с. Червона Слобода

На дифрактограмі чітко фіксуються піки тодорокіту та піролюзиту. Розраховані параметри кристалічної ґратки піролюзиту з фільтрувального завантаження водозабору м. Узин становлять (нм): $a = 0,9885$; $b = 0,2850$; $c = 0,9451$; $\beta = 94,71$ град, що відповідає структурним характеристикам MnO_2 . Розраховані параметри кристалічної ґратки тодорокіту на тому ж завантаженні становлять (нм): $a = 0,9772$; $b = 0,2851$; $c = 0,9514$; $\beta = 93,56$ град, що відповідає структурним характеристикам $\text{Mn}_6\text{O}_{12}(\text{H}_2\text{O})_{3,16}$.

Отримані мінерали належать до манганооксидолітів – загальної формули MnO_x , де $1 < x < 2$. Манганооксидоліти характеризуються дисперсністю; деякі з них містять значну кількість рентгенаморфної фази і є метастабільними з тенденціями перетворення у більш стійкі кристалічні фази (Yudovich and Ketris, 2013). Нецілочисельне значення величини x веде до появи негативного заряду структури манганооксидолітів (Yudovich and Ketris, 2013).

Утворений в процесі водопідготовки на поверхні гранул тодорокіт дуже близький за структурою до тодорокіту, що формується в залізомарганцевих конкреціях Світового океану (Сучков, 2017).

Присутні фази MnO_2 та магnezіального тодорокіту – $(\text{Mg}, \text{Mn})[\text{Mn}_5\text{O}_{12}] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Більша частина матеріалу перебуває в аморфному та нанокристалічному стані. Розраховані параметри кристалічної ґратки мангановмісної кірки з фільтрувального завантаження водозабору с. Червона Слобода становлять (нм): $a = 0,9803$; $b = 0,2846$; $c = 0,9517$; $\beta = 93,8540$ град.

Таким чином, у процесі фільтрування насиченої атмосферним киснем підземної води з підвищеними концентраціями Fe^{2+} і Mn^{2+} гранули фільтрувального завантаження поступово покривалися 3М кіркою. Фактично гранули відіграють роль субстрату (Юдович, 2007; Юдович и Кетрис, 2014) для формування 3М кірок. Сформований на поверхні гранул фільтрувального завантаження шар манганооксидоліту постійно нарощується. Нарощення відбувається двома послідовними, а надалі паралельними шляхами – абіотичним, який показаний в даній роботі, і біологічним, що детально розкритий в роботі (Чарний, 2017).

Однією з технологічних особливостей систем водопідготовки є регулярна регенерація фільтрів. Регенерація фільтрів проводиться шляхом їхньої зворотної промивки. При цьому відбувається розширення простору між гранулами фільтрувального завантаження і завдяки цьому проходить винесення промивною водою пластівців $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Надлишки 3М кірок видалялися з гранул фільтрувального завантаження в процесі механічного тертя гранул одна об одну під тиском промивної води. Завдяки цьому поверхня 3М кірок постійно поновлює шар манганооксидоліту і таким чином здатна відновлювати свої каталітично-адсорбційні властивості як за допомогою абіотичних процесів адсорбції Mn^{2+} і наступного

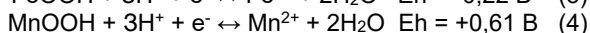
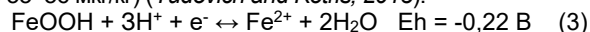
окиснення $\text{Mn}(\text{II}) \rightarrow \text{Mn}(\text{IV})$, так і завдяки процесам життєдіяльності залізобактерій.

Маючи значний від'ємний заряд поверхні й відкриті кристалічні ґратки, манганіти захоплюють низку низьковалентних катіонів: Na^+ , K^+ , Br^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} (Yudovich and Ketris, 2013), нейтралізуючи тим самим свій заряд. Це підтверджується нашими спостереженнями, які виявили стабільне зменшення загальної жорсткості очищеної води в процесі водопідготовки порівняно з вихідною. Очевидно, що частина Ca також накопичується на 3М кірках (рис. 2).

Раніше на основі експериментів (Шевченко и др., 2005; Шевченко и Циганков, 2006), було доведено досить високу ефективність пінополістиролу для часткової дезактивації поверхневих вод від $^{90}\text{Sr}^{2+}$, проте механізм цього процесу залишався недостатньо з'ясованим. Слід підкреслити, що максимальна ефективність 3М кірок у процесі очищення води досягається за відсутності або мінімального вмісту органічної речовини у воді, що характерно саме для підземних вод, очищення поверхневих вод забезпечують головним чином біологічні плівки на тих самих гранулах пінополістиролу.

Згідно з дослідженням Барнсів (Burns R. and Burns V., 1976), манганооксидоліти поділяють за структурною ознакою на шаруваті (філломанганіти), ланцюгові й тунельні. Загальновідомо, що структура манганітів завжди будується з Mn – октаєдрів MnO_6 , але змінюється їхнє розташування у просторі, кількість молекул води і склад домішкових катіонів, що посідають структурні вакансії і/або, розташовані в міжшарових проміжках. До тунельних відносять 9,6? – тодорокіт (Na , Ca , K) (Mg , Mn) $[\text{Mn}_5\text{O}_{12}] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Його структура складається із зшитих поперечними зв'язками ланцюжків октаєдрів шириною в один або два октаєдри. У тетрагональних мінералах вони розташовуються паралельно осі c , а в моноклінних – паралельно осі b . Структура тодорокіту схожа на структуру бузериту, але має поперечні низки октаєдричних ланцюжків різної довжини, розташованих уздовж осі a .

В анаеробних середовищах манганооксидоліти виконують роль окиснювачів, набагато більш сильних, ніж сполуки $\text{Fe}(\text{III})$, що видно з порівняння E_h реакцій відновлення $\text{Fe}(\text{III})$ і $\text{Mn}(\text{IV})$ при $\text{pH} = 7$ і концентрації $\text{Me}^{2+} = 10^6$ моль (тобто близько 55–56 мг/кг) (Yudovich and Ketris, 2013):



Ґрунтознавці вважають, що Mn каталізує окиснення органічної речовини (ОР), утворення гумусу і комплексів $\text{N}_{\text{орг}}$. Зокрема доведено, що MnO_x окиснює гумінові й фульвокислоти, перетворюючи їх у низькомолекулярні сполуки, перш за все в солі піровиноградної кислоти (CH_3COCOON) – пірувати (Yudovich and Ketris, 2013).

Залежно від співвідношення концентрацій Mn/Fe у вихідній воді можливе утворення манганітів, у яких

присутня кристалічна решітка, або манганооксидолітів з домінуванням рентгенаморфних структур зі значним вмістом гідратних складових гідроксиду заліза. Стабільний вміст гідратної складової в рентгенаморфних ЗМ кірках на фільтрувальному завантаженні зі станції водопідготовки с. Червона Слобода пояснює її пластичність, а підвищений, порівняно з водою водозабору в с. Червона Слобода, вміст марганцю у воді водозабору м. Узин пояснює домінування кристалічної будови й оксидної форми манганооксидолітів у ЗМ кірках із фільтрувального завантаження станції в м. Узин. Підвищений вміст Mn надає темно-коричневого, майже чорного забарвлення даній ЗМ кірці.

Висновок. Використовуючи природні процеси як абіогенного, так і біотичного генезису, можна створити умови інтенсивного формування ЗМ кірок на поверхні гранул фільтрувального завантаження і завдяки цьому отримати новий технологічний процес безреагентної деманганізації підземних вод. У процесі очищення води за даною технологією ми одночасно з вилученням наднормативних концентрацій заліза і марганцю отримуємо каталітичну кірку на поверхні гранул фільтрувального завантаження. Ця кірка складена тодорокітом та аморфним манганооксидолітом. Відповідно, у сформованій таким чином ЗМ кірці присутній значний відсоток вищих оксидів марганцю, які забезпечують каталітичну дію плівки відносно окиснення $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$ і $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$. Експериментально підтверджено, що в процесі формування нового шару тодорокіту відбувається захоплення катіонів Br^{2+} і Ca^{2+} , а це, у свою чергу, свідчить про потенційну придатність представленого способу до вилучення з подібних вод інших низьковалентних катіонів, наприклад: Mg^{2+} , Sr^{2+} (у т.ч. радіоактивних ізотопів), Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} та ін.

Список використаних джерел

- Водопостачання зовнішні мережі та споруди основні положення проектування. (2013). ДБН. В.2.5-74:2013.
- ДСанПіН 2.2.4-171-10. (2010). "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною".
- Журба, М. Г., Говорова, Ж. М., Квартенко, А. Н. (2006). Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод. Водоснабжение и санитарная техника, 9, 17-23.
- Золотова, Е. Ф., Асс, Г. Ю. (1975). Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. Москва.
- Квартенко, А. Н. (2009). Железобактерии в подземных водах Украины и их роль в окислении соединений железа и марганца. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво, 34, 180-186.
- Кульський, Л. А., Строкач, П. П. (1986). Технология очистки природных вод. К.: Вища школа.
- Мачехина, К. И., Шиян, Л. Н., Сваровский, А. Я. (2013). Технология очистки подземных вод от коллоидных соединений железа путем временного понижения pH. Фундаментальные исследования, 8 (3).
- Муш, П., Герасимов, Г.Н. (2006). Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация, 12, 35-39.
- Николадзе, Г. И. (1978). Обезжелезивание природных и оборотных вод. Москва.
- Орлов, В.О. (2008). Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням: монографія. Рівне: Нац. унів. вод. госп. та природокористування.
- Сташук, В. А. (2009). Наукові засади управління водогосподарсько-меліоративним комплексом України: монографія. К.: Інститут гідротехніки і меліорації УААН.
- Сучков, И.А. (2017). К минералогии железомарганцевых образований Индийского океана. Геология и полезные ископаемые Мирового океана, 1, 58-64.
- Хоружий, П. Д., Хомуцька, Т. П., Хоружий, В. П. (2008). Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ.
- Чарний, Д. В. (2011). Обґрунтування доцільності застосування біологічних систем очищення підземних вод. Меліорація і водне господарство, 99, 222-233.
- Чарний, Д. В. (2012). Досвід застосування біологічного методу очистки багатоконпонентних підземних вод. Вода і водоочисні технології, 2 (8), 17-29.
- Чарний, Д. В. (2017). Розвиток теоретичних засад і удосконалення технологій очищення природних вод в системах сільськогосподарського водопостачання. К.: Інститут водних проблем і меліорації НААН.
- Чернова, Н. М. (2014). Очищення природних вод від сполук марганцю із застосуванням сорбента-каталізатора. К.: Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України.
- Шевченко, А.Л., Гудзенко, В.В., Спасенова, Л.Н. (2005). Применение неорганических и биологических методов дезактивации природных вод в Чернобыльской зоне отчуждения. Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения, 8, 131-144.
- Шевченко, О.Л., Циганков, М.Я. (2006). Накопичення радіонуклідів на пінопілістирольних фільтрах при дезактивації поверхневих вод. Тезиси докладів Міжнарод. научного семінара "Радіоекологія Чернобыльской зоны". Славутич, 27-29 вересня, 2006, 207-210.
- Юдович, Я. Э. (2007). Почему Fe-Mn-конкреции имеют ядра? Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 8, 7-10.
- Юдович, Я.Э., Кетрис, М.П. (2014). Геохимия марганца. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН.
- Burns, R. G., Burns, V. M. (1976). Manganese oxide. Marine Minerals. Reviews in Mineralogy, 1-46.
- Conner, D. O. (1989). Removal of iron and manganese. Water Sewage Works, 28, 68.
- Ellis, D., Bouchard, C., Lantagne, G. (2000). Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration. Desalination, 130, 255-264.
- Greven, A.-C. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoparticles act as stressors to the innate immune system of fathead minnows (pimephales promelas, rafinesque 1820). Imu.
- Hem, J. D. (1963). Chemical equilibria and rates of manganese oxidation. U.S. Geol. Surv. Water Supply, 1667A, 63.
- Hem, J. D. (1977). Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide.
- Post, J.E., Heaney, P.J., Hanson, J. (2003). Synchrotron x-ray diffraction study of the structure and dehydration behavior of todorokite. American Mineralogist, 88, 142-150.
- Yudovich, Y. E., Ketris, M. P. (2013). Manganese geochemistry in supergene processes. a review. Biosphere, 5, 1.

References

- A water-supply external networks and buildings fundamental designing statements. (2013). (DBN v.2.5-74:2013). [in Ukrainian]
- Burns, R. G., Burns, V. M. (1976). Manganese oxide. Marine Minerals. Reviews in Mineralogy, 1-46.
- Charnyi, D. V. (2011). Grounds to application expedience of the underwaters cleaning biological systems. Land-reclamation and water economy, 99, 222-233. [in Ukrainian]
- Charnyi, D. V. (2012). Biological method of multicomponent underwaters cleaning application experience. Water and water-purifying technologies, 2(8), 17-29. [in Ukrainian]
- Charnyi, D. V. (2017). Theoretical principles development and improvement of natural waters cleaning technologies in the agricultural water systems. Kyiv: Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAASU. [in Ukrainian]
- Chernova, N. M. (2014). Cleaning natural waters from composition of manganese with application of sorbent-catalyzer. K.: A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry of NASU. [in Ukrainian]
- Conner, D. O. (1989). Removal of iron and manganese. Water Sewage Works, 28, 68.
- Ellis, D., Bouchard, C., Lantagne, G. (2000). Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration. Desalination, 130, 255-264.
- Greven, A.-C. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoparticles act as stressors to the innate immune system of fathead minnows (pimephales promelas, rafinesque 1820). Imu.
- Hem, J. D. (1963). Chemical equilibria and rates of manganese oxidation. U.S. Geol. Surv. Water Supply, 1667A, 63.
- Hem, J. D. (1977). Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide.
- Khoruzhiy, P. D., Khomutetskaya, T. P., Khoruzhiy, V. P. (2008). Resource-saving technologies of water-supply. Kyiv. [in Ukrainian]
- Kulskii, L. A., Strokach, P.P. (1986). Natural waters cleaning technology. Kyiv: Vischa shk. [in Russian]
- Kvartenko, A. N. (2009). Iron bacteria's in the underwaters of Ukraine and their role in oxidation of iron and manganese compounds. Hydromelioration and hydrotechnical construction, 34, 180-186. [in Russian]
- Machekhina, K. I., Shian, L. N., Svarovskii, A. Ya. (2013). Underwaters cleaning technology from colloid compounds of iron by the temporal lowering of pH. Fundamental researches, 8-3. [in Russian]
- Mushe, P., Gerasimov, G. N. (2006). Biological water iron removal: ground and realization, 12, 35-39. [in Russian]
- Nikoladze, G. I. (1978). Iron removal of natural and circulating waters. Moscow. [in Russian]
- Orlov, V.O. (2008) Iron removal of underwaters by simplified aeration and filtration: monograph. Rivne: National University of Water and Environmental Engineering. [in Ukrainian]
- Post, J.E., Heaney, P.J., Hanson, J. (2003). Synchrotron x-ray diffraction study of the structure and dehydration behavior of todorokite. American Mineralogist, 88, 142-150.
- SanPiN 2.2.4-171-10 (2010). "Hygienical requirements to water drinkable, intended for a consumption by man". [in Ukrainian]
- Shevchenko, A.L., Gudzenko, V.V., Spaseno, L.N. (2005). Application of inorganic and biological methods of natural waters decontamination in the Chernobyl Exclusion Zone. Promlems of the Chernobyl Exclusion Zone, 8, 131-144. [in Russian]
- Shevchenko, O.L., Tsyhankov, M.Ya. (2006). Radionuclides accumulation on foam polystyrene filters during decontamination of surface-water: Theses papers of "Chernobyl zone radioecology" International scientific workshop. Slavutych, 27-29 September, 2006, 207-210. [in Ukrainian]

Stashuk, V.A. (2009). Scientific basis of management the water industry - land-reclamation complex of Ukraine. Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation of NAASU. [in Ukrainian]
Suchkov, I.A. (2017). To the mineralogy of ferromanganese formations of the Indian Ocean. Geology and minerals of the oceans. [in Russian]
Yudovich, Ya. E. (2007). Why do Fe-Mn-concretions have cores? Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Centre UB RAS, 8, 7-10. [in Russian]
Yudovich, Ya. E., Ketris, M. P. (2014). Manganese geochemistry. Syktyvkar : Institute of Geology of the Komi Science Centre UB RAS.

Yudovich, Y. E., Ketris, M. P. (2013). Manganese geochemistry in supergene processes. a review. Biosphere, 5, 1.
Zhurba, M. G., Govorova, Zh. M., Kvarnenko, A. N. (2006). Biochemical iron and manganese removal of underwaters. Water-supply and sanitary engineering, 9, 17-23. [in Russian]
Zolotova, E. F., Ass, G. U. (1975). Water cleaning from iron, manganese, fluorine and hydrogen sulfide. Moscow. [in Russian]

Надійшла до редколегії 01.03.18

D. Charny, Dr. Sci. (Techn.), Senior Research, Chief Researcher,
E-mail: dmitriych10@gmail.com
Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAASU
36 Vasylykivska Str., Kyiv, 03020, Ukraine
O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: shevch62@gmail.com
V. Nesterovskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

COMPOSITION AND PROPERTIES OF MINERAL NON-FORMATIONS ON A FILTER SUBSTRATE DURING TREATMENT OF UNDERGROUND WATER FROM IRON AND MANGANESE

Purpose. To determine composition and properties of iron-manganese crusts formed on grainy filtration load granules surface in the process of underground waters cleaning from Fe^{2+} and Mn^{2+} , and to determine the application limits and perspective trends of the offered water preparation technology development, conditioned by the properties of these crusts.

Method. For the analysis of physical and chemical properties of iron-manganese crusts analytical methods are used on the base of leaching and determination of iron and manganese content in solution and for more precise definition of crust qualitative composition an X-ray fluorescent photography spectrometry is used. For determination of crystalline structure an X-ray photography diffractometry was used, and the thickness of film was determined by mechanical micrometry. Processing of the received information and graphic interpretation of data is executed with application of LibreOffice Calc, Gnumeric and PSP software.

Results. Determined physicochemical characteristics of iron-manganese crust formed on granules surface of grainy filtration load, the metrical sizes of film are determined: thickness and mass, analytically determined by lixiviating contents of iron and manganese in a crust. Manganites, that form a crust, are dispersion characterized; on some occasion considerable amount of roentgenoamorphous phase is formed, and in other - a crystalline form predominates as todorokite. In our opinion, it is determined by correlation of Mn/Fe concentrations in initial water. Results of crust measuring on the granules of filtration load on the water treatment station in town of Uzin is the following: thickness $0,518 \pm 0,209$ mm; mass $0,0039 \pm 0,0004$ g, manganese contents and total iron, accordingly, $115,59 \pm 4,33$ mg/dm³ and $55,33 \pm 30,85$ mg/dm³. Manganese and iron contents, which were lixiviated from the crusts of filtration load on the water treatment station in Chervona Sloboda village, accordingly: $55,067 \pm 10,946$ mg/dm³; $100,476 \pm 4,284$ mg/dm³.

Scientific novelty. Firstly possibility of forming catalytic crust (film) from iron-manganese compositions on the filtration load surface is experimentally proved, among those compositions there are higher oxides of manganese in considerable volumes. Having determined their crystalline and chemical structure, it was proved that they provide the effective removal of iron and manganese over the norm contents from water and in a perspective can be used for the removal of a number of low valency cations among which the removal of Ca^{2+} and Br^{2+} is experimentally confirmed.

Practical significance. Based on the known geobiochemical cycles of iron and manganese a new water treatment technology and also a new filter material with considerable potential of subsequent improvement and application are gotten, unlike classic technologies of manganese removal this method does not require bringing in additional reagents at $\text{Mn(II)} \rightarrow \text{Mn(IV)}$ oxidation.

Keywords: underground water, iron-manganese crust, iron removal, mangan removal, todorokite.

Д. Чарный, д-р техн. наук, старш. науч. сотруд., гл. науч. сотр.
E-mail: dmitriych10@gmail.com
Институт водных проблем и мелиорации НААН
ул. Васильковская, 37, г. Киев, 03022, Украина
А. Шевченко, д-р геол. наук, старш. науч. сотр., проф.,
E-mail: shevch62@gmail.com
В. Нестеровский, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СОСТАВ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ФИЛЬТРУЮЩЕМ СУБСТРАТЕ ПРИ ОЧИСТКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

Цель. Установить состав и свойства железомарганцевых корок, сформированных на поверхности гранул зернистой фильтрующей загрузки в процессе очистки подземных вод от Fe^{2+} и Mn^{2+} , и определить границы применения и перспективные направления развития предложенной технологии водоподготовки, обусловленные свойствами этих корок.

Методика. Для анализа физико-химических свойств железомарганцевых корок использованы аналитические методы на базе выщелачивания и определения содержания в растворе железа и марганца, а для уточнения качественного состава корки применено рентгенофлуоресцентную спектрометрию. Для определения кристаллического строения применено рентгеновскую дифрактометрию, а толщину пленки определяли с помощью механической микрометрии. Обработка полученной информации и графическая интерпретация данных выполнена с применением пакетов LibreOffice Calc, Gnumeric и PSP.

Результаты. Определены физико-химические характеристики железомарганцевой корки, образующейся на поверхности гранул зернистой фильтрующей загрузки, установлены метрические размеры пленки: толщина и масса, аналитически определены с помощью выщелачивания содержание железа и марганца в корке. Мanganиты, образующие корку, характеризуются дисперсностью; в отдельных случаях формируется значительное количество рентгеноаморфной фазы, а в других – преобладает кристаллическая форма в виде тодорокита. По нашему мнению, это определяется соотношением концентраций Mn/Fe в исходной воде. Результаты измерений корки на гранулах фильтрующей загрузки станции водоподготовки в г. Узин следующие: толщина $0,518 \pm 0,209$ мм, масса $0,0039 \pm 0,0004$ г, содержание марганца и общего железа, соответственно, $115,59 \pm 4,33$ мг/дм³ и $55,33 \pm 30,85$ мг/дм³. Содержание марганца и железа, которые были выщелочены из корок фильтрующей загрузки станции очистки воды в с. Червона Слобода, соответственно: $55,067 \pm 10,946$ мг/дм³; $100,476 \pm 4,284$ мг/дм³.

Научная новизна. Впервые экспериментально доказана возможность формирования на поверхности фильтровальной загрузки каталитической корки (или пленки) из железомарганцевых соединений, среди которых в значительных объемах присутствовали высшие оксиды марганца. Установлено их кристаллическое и химическое строение, доказано что они обеспечивают эффективное удаление сверхнормативного содержания железа и марганца из воды и в перспективе могут быть использованы для извлечения целого ряда низковалентных катионов, среди которых экспериментально подтверждено изъятие Ca^{2+} и Br^{2+} .

Практическая значимость. Основываясь на известных геобioхимических циклах железа и марганца, получена новая технология водоподготовки, которая, в отличие от классических технологий деманганации, не требует привлечения дополнительных реагентов при окислении Mn (II) $\rightarrow$ Mn (IV), а также получен новый фильтрующий материал со значительным потенциалом дальнейшего совершенствования и применения.

Ключевые слова: подземные воды, железомарганцевая корка, обезжелезивание, деманганация, тодорокит.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 504.57

V. Zatserkovnyy, Dr. Sci. (Techn.),
E-mail: vitallii.zatserkovnyi@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine
M. Bogoslovskiy, PhD Student
Kiev Aviation University, Department of Aerospace Geodesy
1 Cosm. Komarova Ave., Kyiv, 03058, Ukraine

**EVALUATION OF RISKS EMERGENCIES BY MODELLING
THE FUNCTIONAL STATUS OF THE OBJECTS**

(Рекомендовано членами редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік і д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Here one can find the approach to develop a model of functional state of researched object for the assessment of the risks emergencies appearance. The analysis of the causes of appearance and development of natural and anthropogenic emergencies is conducted and the most indicative causes are defined.

Emergency risk analysis is part of a system-wide approach to decision-making in the process of managing territories, procedures and practical measures to address the challenges of managing a security process. The basis of risk analysis is the physical and mathematical modeling of natural and socio-economic systems and processes occurring in them, which involves the interaction of the main components of the system with the environment in regular and extra-ordinary situations.

Since dangerous phenomena (emergencies) occur in a certain area with specific coordinates, it is quite clear that geo-information systems (GIS) and geo-information technologies (GIS) are most appropriate for assessing the risk of emergencies.

To describe the functioning of the monitoring object it is necessary to construct its mathematical model. The most complete state of the object of the study is characterized by its mathematical functional and statistical model (a system of equations that describes the dependence of the parameters of the monitoring object, its systems and subsystems on external and internal effects in the process of its functioning). Based on the analysis of this model, it becomes possible to formulate the main tasks that are solved by GIS in monitoring of natural or socio-economic systems, and synthesize the optimal structure of GIS.

Keywords: emergency situations, risk, risk assessment, model, geoinformation systems, geoinformation technologies.

Introduction. Despite the active development of scientific and technological progress, the widespread use of nano-, information and space technologies, society is still not immune to accidents and disasters caused by man-made or natural factors. The media provide information about forest fires, floods, earthquakes, landslides, volcanic eruptions, hurricanes, tornadoes, snowstorms and dust storms and other natural disasters, accidents and catastrophes in enterprises and transport, and the loss of people in the area of military conflicts, destruction of human settlements and objects of economic activity, pollution and infection of the environment.

Elements of the modern natural environment, society and its infrastructure are so closely interconnected and integrated with each other that even a small natural or man-made incident can affect not only its closest environment but also a substantially larger sphere (the "butterfly effect" or the Lorentz attractor), causing mass deaths and huge material damage. It is clear that these circumstances caused the urgent need to assess emergencies, measuring the losses caused by their appearance and the risks of their occurrence (the probability of their occurrence).

Each type of damage has its quantitative expression (the number of people in the danger zone, the number of dead, wounded or sick, the quantity and quality of destroyed material assets, quantitative losses of natural resources, the area of the affected or infected area, etc. In this case, cost approach can be used as well (definition of loss in cash equivalent).

The second, universal, more widespread assessment of danger is "risk". The concept of "risk" in various literary sources is interpreted as a danger, as the probability of an adverse event, as the expected loss from an adverse event, as a vector value, the components of which are the probability of an adverse event and the expected loss from it, etc.

The concept of risk has replaced the concept of normative models and standards and it comes from the fact that the level of danger for people's life and health can never be equal to zero. The use of the concept of risk allows you to get an adequate picture of the real dangers for people's lives, their size, opens new opportunities for the authorities

on this basis to develop effective measures to reduce the impact on the health of people, especially highly dangerous and medium-risk factors.

In the mathematical sense, the risk is considered as a function of the probability of occurrence of an adverse situation and the damage made. Mathematical apparatus for analysis and risk assessment includes predictive modeling and scenario analysis, as well as probabilistic estimates (*The Code of Civil Protection of Ukraine...*, 2012).

Risk assessment can serve as the basis for preventing and mitigating the effects of the emergencies. This issue has become more and more relevant in recent years. An example is the UNO program APELL (Awareness and Preparedness for Emergencies at the Local Level (APELL, 2015)). The IMPACT project (FEMA, 2001) follows a similar goal.

Actuality of theme. Emergencies have a common problem for all countries of the world, they have a significant impact on the living conditions of the population, economic development of the countries and separate regions, the environment and infrastructure which were affected by emergencies. Consequences have a long-lasting effect, which in some cases may increase with time or have irreversible social, economic consequences.

Ukraine is one of the European countries that suffers greatly from the emergencies, which have a negative impact on the territory, cause death of people, destroy the infrastructure of the territories and create serious losses and obstacles for the further socio-economic development of the country.

In the ranking of the security level of the 2018 Institute for Economics and Peace, which was created on the basis of 23 qualitative indicators from authoritative sources, Ukraine ranked 152th (*Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level, n.d.*). The main reasons for such a low level of safety of the population, territories, social, man-made and natural objects in Ukraine are (*Ivanyuta and Kachynskiy, 2012*):

- imperfect state policy aimed at post-factional response to natural and man-made emergencies which negatively affect the life safety of the population and manifests itself in increasing the risk of natural phenomena caused by global warming of the climate, increasing seismic activity,

expansion of ozone holes as well as intensification of influence of man's technogenic activity on the environment;

- significant number of dangerous man-made objects on the territory of Ukraine;
- increased probability and scale of the influence of natural emergency phenomena and disasters on the operation of dangerous man-made objects;
- increase of the risk of technogenic accidents and catastrophes caused by the critical degree of deterioration (60-80%) of the main productive assets in the leading industries, in agro-industrial complex, in life support systems of Ukraine;
- high level of traumatism and mortality of the population of Ukraine, caused by the emergencies of man-made and natural character;
- weakening of state control and inefficiency of mechanisms of state regulation of technogenic and natural safety;

• the inadequacy of the state preventive policy in the field of providing technogenic and natural safety in line with the level of real risks of dangerous natural phenomena and the degree of complexity and danger of modern technological complexes on the territory of Ukraine (Anderson, 1963);

• the failure of a universal state system of civil protection of the population and territories in its present form to effectively resist modern threats to the safety of man, society and the state.

In Ukraine, at least 150-200 emergencies of various origin occur annually, resulting in a state losing about 3% of gross domestic product (Fig. 1) (Bobalo et al., 2015).

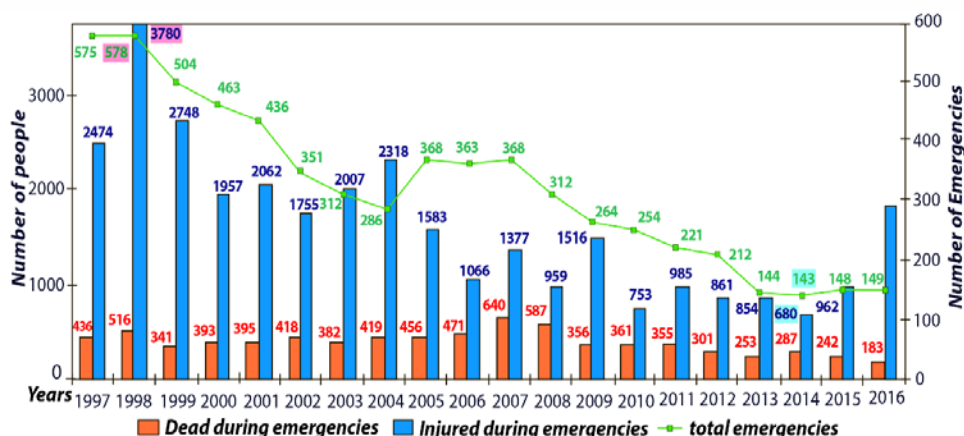


Fig. 1. The dynamics of emergency cases appearance on the territory of Ukraine during the period 1997-2016 (FEMA, 2001)

And these figures will grow due to climate change and intensive socio-economic development of territories in areas of high risk of emergency appearance. As a result, there is a marked slowdown in the rate of economic growth of the country, a loss of a real opportunity for a massive improvement in the living standards of the citizens (Analytical overview of man-made..., 2016).

The purpose of the research is to develop mathematical, methodological, algorithmic and programmed software for modeling and assessing risks of emergencies appearance based on GIT and selecting the optimal GIS structure.

The degree/readiness of the topic researched. World practice in its arsenal has considerable experience in mathematical modeling of emergencies, objects and phenomena, represented by a large number of published scientific works, which reflect different aspects of this problem. The research on the control and forecasting of the dynamics of emergencies using mathematical modeling methods was done in the work of O.F. Vasiliev, M.M. Druzhynina, O.V. Ignatova, V.I. Kichigyna, V.I. Kostina, L.S. Kuchmenta, X.J.R. Avula, J. Bear, A. Vervnyt, E.A. Bender, M. Cross, A.A. Moscardini, R. Courant, D. Hilbert and a number of other scientists. Among the authoritative scientists, who made a significant contribution to the development of mathematical support for solving management problems in emergencies, one can mention M.M. Bichenka, B.M. Porfir'eva, I.V. Sergienko, V.S. Deineko, V.I. Pampuro, V.A. Pepelyaeva, K.L. Atoeva, R.I. Trukhayeva, S. Yanga, V.S. Mikhalevych, Y.P. Mikhno, A.A. Sakova, L.F. Nozhnikova, V.A. Rodicheva, A.D. Potapova, V.I. Telichenko, A.I. Shokyna, H.V. Fedulova, V.A. Panteleeva, I.I. Kuzmina, V.I. Osipova, M.Y. Berlyanda and many others.

However, the increased risk of emergencies suggests the need for further research in this area.

The object of the study is emergencies of natural and anthropogenic origin, analysis of approaches to assess the risk of emergencies with the help of geo-information systems.

The subject of the study is the methods of mathematical modeling, algorithms and a set of programs for assessing the risk of emergencies and modeling scenarios for their development using the GIT.

Research methods are based on the fundamental provisions of the theory of mathematical modeling, numerous methods for the solution of differential equations, the theory of complex systems analysis, decision-making, spatial analysis in GIS.

Presenting main material. Emergency situation is an environment on a separate territory or industrial subject or on a water object, which is characterized by violation of normal living conditions of the population caused by a disaster, accident, fire, natural disaster, epidemic, epizootic, epiphytotic, the use of means of destruction or other dangerous event that has led (or may lead to) a threat to the life or health of the population, a large number of dead and injured, significant material damage, as well as the impossibility to live or conduct a business on such territory or object (Kussul et al., 2014).

Natural-technological emergencies are distinguished by the nature of the source and magnitude. The following emergencies most often take place on the territory of Ukraine:

- accidents at industrial, civilian and military sites associated with loss of reliability and stability of structures;
- accidents (catastrophes) in transport;
- fires, explosions at industrial sites;
- fires in natural ecosystems;

• accidents with the release (threat of emissions) of unsafe chemicals on the objects of the economy (except transport);

- meteorological;
- geological;
- poisoning of people;
- infectious diseases of people;

• dangers associated with military actions in the area of anti-terrorist operation (ATO).

The analysis of the causes and development of natural and industrial emergencies shows that in most cases the basis of their origin and development are three meteorological factors: temperature, wind, precipitation. These parameters are the primary natural sources of emergencies, which in combination with humidity and atmospheric pressure form conditions for the emergencies and development of other dangerous natural processes and phenomena (floods, avalanches, mudflows, landslides, tornadoes, natural fires, droughts, dust storms, ice, etc.), which can already be considered as "secondary" natural sources of natural and man-made emergencies. (*Zatserkovnyi et al., 2016*). Methodologically, the task of forecasting the emergencies, risk assessment (risk probability) as well as any other multifactorial process or phenomenon can be solved by:

- mathematical modeling with the construction of a predictive model for calculating the forecast parameters;
- construction of semi-empirical forecasting models;
- construction of empirical predictive dependencies;
- construction of forecasting expert systems based on expert formalization of cause-and-effect relationships between types and parameters of process and phenomena sources and the parameters of their consequences.

To solve any problem of prediction by methods of mathematical modeling, semiempirical and empirical calculation of predictive parameters, including the task of short-term prediction of natural-technological disasters and the risk of their occurrence, a sufficient amount of information of high reliability and parametrization is required.

In the simplest form, the risk can be represented as a value derived from the probability and consequences:

$$R = P \cdot C,$$

where R is risk; P – probability; C – consequences.

In this case, incidents with high probability and mild consequences and incidents with low probability and severe consequences may have the same risk. For example, cases of collisions on the motorway route have a high probability, but the consequences of such cases are not always serious. It is much less likely that a high voltage pole will fall on a road vehicle, but the consequences will be much more severe. Although the objective values of the risk indicator for these two cases will be the same, people are inclined to assess these risks in different ways.

Consequently, when assessing the risks it is necessary to distinguish between objective and subjective (perceived or felt) risks. Objective risk is a risk calculated by a certain rule, most often - based on the probability of an incident. Subjective risk is a measure of danger that a person feels in one or another situation. Subjective risk can also be a measure of the consequences level, which is sufficient for a person to consider the incident as risky.

The risk is often attributed to a specific event. The vulnerability refers to the system, for example, to transport infrastructure, telecommunications or society as a whole. Vulnerability is a measure of how a system can cope with risk or endure risk. For example, the average risk of a long shutdown of electricity in modern infrastructure is rather low, with the exception of major natural disasters. However, despite the low risk, the vulnerability is very high. Thus, it is obvious that in order for risk to have some meaning, it must be in one way or another connected to the consequences.

Implications can be one of the forms of visualization; the visual presentation of the effects often contributes to a better perception of the level of risk.

Risk reporting is the process of creating and delivering a message from an expert to a user that aims at informing about direct danger or providing general information about the risk that ordinary users perceive unlike experts.

Visualization can be divided into research and information visualization. The first approach involves research, that is, the study and analysis of phenomena or events that can be considered as risks. The second approach is aimed at informing and bringing information and attracting public attention.

Risk analysis is understood to mean systematic research and practice aimed at identifying and quantifying risk characteristics, assessing and comparing them with criteria to determine the appropriateness of the risk under consideration and to develop management priorities.

Risk analysis is part of the systematic approach to decision-making in the process of area management, procedures and practical measures while solving the tasks of managing the security process. The basis of risk analysis is the physical and mathematical modeling of natural and socioeconomic systems and processes occurring in them, which includes the interaction of the main components of the system with the environment in the regular and extraordinary situations. In the analysis of risks, scenarios of the emergence and development of accidents and disasters are developed and described using the basic defining equations and criteria of mechanics, physics and other sciences.

Quantitative risk assessment is an integral part of risk analysis. On the basis of risk analysis, a complex of safety-related work is carried out at all stages of the life cycle of natural and socio-economic systems (SES):

- development of means of protection against accidents and disasters;
- monitoring of the hazards of the functioning of the natural environment and SES;
- continuation of the resource of safe exploitation of man-made objects;
- modernization of man-made objects with increasing safety requirements;
- safe decommissioning, storage and disposal of dangerous man-made objects.

The conceptual basis for the analysis of the risk of emergency can be presented in the form of the algorithm depicted on fig. 2.

The overall logical sequence of steps (actions) in the methodology of quantitative analysis of the emergency risk occurrence involves:

1. Justification of goals and objectives of risk analysis. Planning and organization of works. Analysis of technological features of a natural and man-made object.
2. Identification of sources of risk and conditions under which they can negatively impact.
3. Determination of the frequency (or probability) of occurrence of undesirable events.
4. Determination of characteristics of sources of influence of dangerous factors (total quantity, intensity and duration: emissions, discharges, allocation of dangerous factors for the whole spectrum of undesirable events).
5. Justification of models and calculation of spatial-temporal transfer and distribution of source factors of danger to the environment.
6. Building potential risk areas around each of the selected sources of danger.
7. Calculation of direct and indirect consequences (losses) of negative influence of sources of danger on various subjects (recipients) or groups of risk.
8. Risk assessment and calculation of its indicators.



Fig. 2. Block-diagram of analysis of emergency risk occurrence

Since dangerous phenomena (emergencies) occur in a certain area which has specific coordinates, it is quite clear that geographic information systems (GIS) and geographic information technology (GIT) (Demenkov, 2017) are most appropriate to assess the risk of emergencies occurrence.

The main purpose of GIS for the tasks of assessing the emergencies risk occurrence is the correct definition of the state of the object of monitoring during a given interval of time. If the GIS task is to predict the normal conditions for the functioning of the monitoring object, then it must predict the behavior of the parameters of the monitoring object in the future.

GIS and GIT can serve as a convenient tool for solving the problems of regionalization of territories, assessing the state of the territory, describing socioeconomic systems, describing its properties, depending on the intended purpose and application, and provide an opportunity to build an effective system of support and management of decision-making. Because of the use of GIS, the time for preparing management, economic efficiency and the visualization of the scenarios for the development of the emergencies decisions is significantly reduced. As an example, on Image 3 the modeling of the flood zones of the city of Chernihiv under various security options is shown.

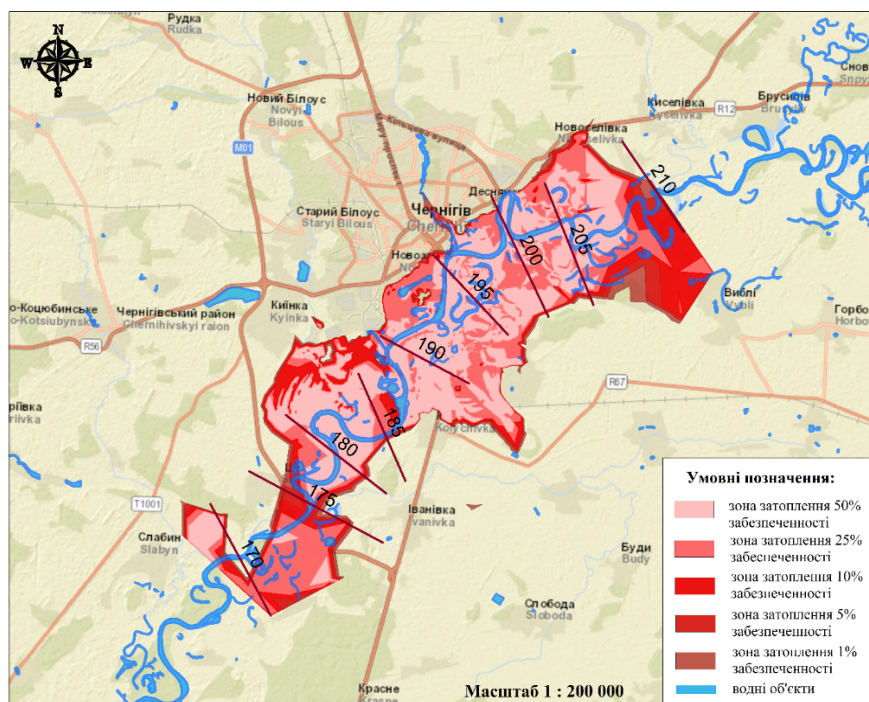


Fig. 3. Flood zones in city of Chernihiv under various security options

The GIS used in the decision-making system should provide control signals for the adoption of efficient (rational) managerial decisions. In this case, GIS acts as a managerial

system that performs a substantially wider range of functions, as opposed to simply checking the state of the SES or visualizing the situation.

GIS performance of its functions is carried out at certain material costs, which means that the GIS efficiency assessment must be performed. Finding an optimal GIS option is a non-trivial task, since it requires taking into account a large number of characteristics of the research object (SES) and GIS, which are related to complex dependencies.

The task of GIS optimization is one of the tasks related to the optimization of complex automated systems and based on classical and modern mathematical methods: variational calculus, theory of statistical decisions, game theory, theory of operations research, information theory, probability theory, Pontryagin method, method of Bellman dynamic programming, etc.

On fig. 4 an algorithm for assessing the effectiveness and optimization of GIS is presented.

From fig. 4 one can see that the process of work-out of general theory of GIS effectiveness and optimization is locked with a plurality of local inverse and direct relationships that are detected and refined in the process of the system design.

Complexity of monitoring process of the monitoring object (natural system, SES) is determined mainly by the complexity of the objects. To describe the functioning of the research object it is necessary to construct its mathematical model.

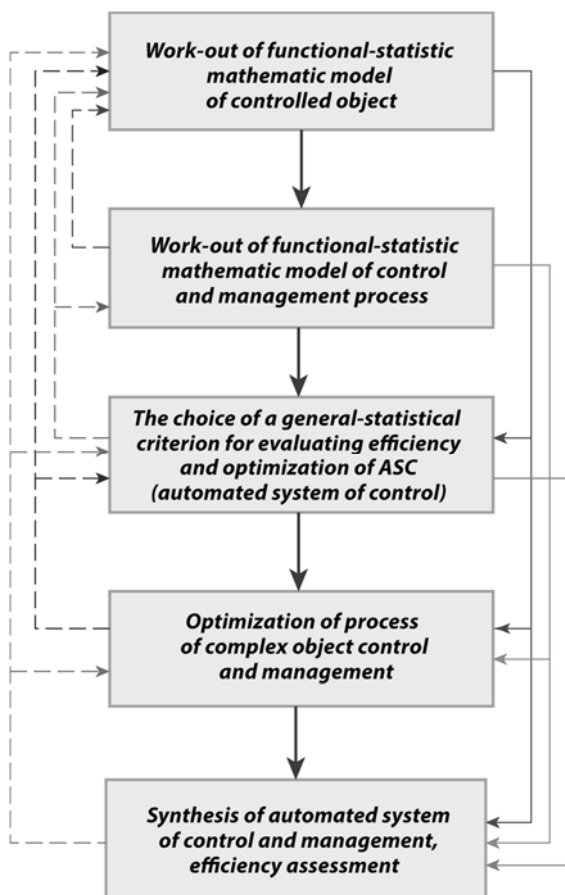


Fig. 4. Algorithm of GIS efficiency and optimization assessment

The most complete state of the object of the study is characterized by its mathematical functional and statistical model (a system of equations describing the dependence of the parameters of the object, system and block on external and internal influences in functioning). On the basis of the analysis of this model, the possibility of formulating the main tasks appears, which are solved by GIS in the process of monitoring of natural systems or SES, as well as synthesizing the optimal structure of GIS (Zhylytsov, 2015).

When constructing a mathematical functional and statistical model for monitoring an object, it is necessary to take into account that it contains all sorts of classes, subclasses and types of systems. These systems can be autonomous and non-autonomous, locked and unlocked, stationary and non-stationary, continuous and discrete. Therefore, it is advisable to use a general mathematical apparatus, which, if appropriate, can be extended to any individual cases.

In addition, when constructing a mathematical functional and statistical model of the research object, the main parameters of the criteria for which the optimization of the characteristics of the monitoring process is performed are taken into account. These parameters include:

- time of the process in general and its components;
- the probability of failure-free operation and the probability of the task being performed by various systems that are part of the object and the object as a whole;
- accuracy of different systems, their weight, volume, cost, electricity consumption and other indicators.

The perturbed state of a research object in monitoring and management can be described by the following system of equations, which is generally a mathematical functional model (APELL, 2015).

$$\sum_p^m M_{ip}(t, \tau, d/dt, Q) \square_p = F_i(t, \tau, X, Z); \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

where $X\{\square_1, \dots, \square_m\}$ – is a vector of random time functions, which characterizes the initial parameters of the object of research; $Z\{\xi_1, \dots, \xi_k\}$ – is a vector of random time functions that characterizes external and internal disturbances and controlling influences; F_i – nonlinear function; $M_{ip}(t, \tau, d/dt, Q)$ – a polynomial with respect to differentiation operators d/dt with time-varying vector of coefficients $Q\{q_1, \dots, q_n\}$; t – current time value; τ – the moment of time till which the object is under observation.

In the process of monitoring, the state of any dynamic system that is under the influence of controlling signals and disturbances, is determined by the initial parameters that are in certain way connected to the influences on the system through the corresponding system of equations (1), vector-operator of the dynamic system, given or a set by totality of mathematical operations $A_{ip}(t, \tau, X, Z, Q)$ or a set of linear or nonlinear differential equations:

$$\frac{d\square_i}{dt} F_{0i}(t, \tau, X, Z), \quad i = 1, 2, \dots, m', \quad (1')$$

$$\xi_j = \sum_{i=1}^{k'} \xi_{ij}^0(t, \tau, X) \bar{\xi}_i,$$

where ξ_{ij}^0 – nonrandom coordinate functions; $\bar{\xi}_i$ – random coefficients; F_{0i} – nonrandom nonlinear function.

Each group in nominal conditions $\xi_{01}, \dots, \xi_{0k}$ from nominal area G_0 and nominal conditions $\square_{01}, \dots, \square_{0m'}$ has its corresponding solution to the system of equations (1):

$$x_{i0} = \varphi_{i0}(\tau_0, \tau, x_{01}, \dots, x_{0m'}, \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k}). \quad (2)$$

Each group in real conditions at moments of time $t = \tau_1$, $\square_{01}, \dots, \square_{0m'}$, $\xi_1, \dots, \xi_k$ of real area G_1 has its real solution of equations system (1):

$$x_i = \varphi_i(x'_{01}, \dots, x'_{0m'}, \bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_k, \tau_1, \tau). \quad (3)$$

The system of equations (1), both in terms of the number of nonlinear operators and the number of output parameters can break up into m separate equations (Silva et al., 2016).

To simplify the calculations we will assume that the number of output parameters is equal to the number of operators, although, in general, they may be larger. For the i -th parameter the system of equations (1) degenerates into the equation

$$M_p(t, \tau, \frac{d}{dt}, q, \dots, q_n)_{\square} = F_i(t, \tau, \square, \zeta_1, \dots, \zeta_k). \quad (4)$$

The impulse function of the system $w(t, \tau, v, \square, Z, Q)$, the transitive function of the system $h(t, \tau, v, \square, Z, Q)$, the transfer function of the system $W(t, \tau, p, \square, Z, Q)$, as well as the amplitude $A(t, \tau, \omega, \square, Z, Q)$ and phase $\phi(t, \tau, \omega, \square, Z, Q)$ frequency characteristics of the system correspond to this equation under linearization.

Conclusions. Consideration of equation of the perturbation state of the research object for the tasks of assessing the risks of emergencies allows us to perform a functional analysis of the state of the research object. However, a more complete description of the static and dynamic state of an object is the probabilistic description with the help of the laws of probabilities distribution of the parameters of elements of input influences, output parameters and vector-operators.

Since the probability of sudden failure is determined by known formulas of the theory of reliability, the main attention should be paid to determining the probability of the occurrence of gradual failures. Mathematical models based on the method of integration of differential equations based on the Monte Carlo method or on the method of quasilinear perturbations is used to determine the probability of gradual failures.

Список використаних джерел

- Андерсон, Т. (1963). Введение и многомерный статистический анализ. М.: Физматгиз.
 Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні. (2016). Отримано із <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit20dopovid/220statistic.pdf>.
 Бобало, Ю.Я., Галюк, С.Д., Климаш, М.М., Політанський, Р.Л. (2015). Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях. Нац. ун-т "Львів. політехніка". Львів: Коло.

- Деменков, Н. П. (2017). Статистическая динамика систем управления. Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
 Жильцов, О.Б. (2015). Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах. Навч. посібник. Київ: Ун-т ім. Б. Грінченка.
 Зацерковний, В.І., Тішаєв, І.В., Віршило, І.В., Демидов, В.К. (2016). Геоінформаційні системи в науках про Землю. Навч. посібник. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя.
 Іванюта, С.П., Качинський, А.Б. (2012). Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків. К.: НІСД.
 Кукуль, Н.М., Скакун, С.В., Шелестов, А.Ю. (2014). Геопросторовий аналіз ризиків стихійних лих. К.: Наукова думка.
 Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI. (2012). Редакція від 12.05.2017.
 Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. (н.д.). A process for improving community awareness and preparedness for technological hazards and environmental emergencies. Retrieved from https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/APELLHandbook2nd_ed.pdf
 APELL. (2015). Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level (APELL). 2nd Edition.
 FEMA. (2001). Retrieved from <http://www.fema.gov/impact/impact00.htm>.

References

- Analytical overview of man-made and natural safety in Ukraine for 2016. (2016). Retrieved from <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit20dopovid/220statistic.pdf>. [in Ukrainian]
 Anderson, T. (1963). Introduction and multidimensional statistical analysis. M.: Physmathgis. [in Russian]
 APELL. (2015). Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level (APELL). 2nd Edition.
 Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. (n.d.). A process for improving community awareness and preparedness for technological hazards and environmental emergencies. Retrieved from https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/APELLHandbook2nd_ed.pdf
 Bobalo, Y.Y., Halyuk, S.D., Klimash, M.M., Politskiy, R.L. (2015). Practical use of the theory of chaotic systems in telecommunications. National University "Lviv polytechnic", Lviv, Kolo. [in Ukrainian]
 Demenkov, N.P. (2017). Statistic dynamics of management systems: tutorial. M.: Publishing House of N.E. Bauman Moscow State Technical University. [in Russian]
 FEMA. (2001). Retrieved from <http://www.fema.gov/impact/impact00.htm>
 Ivanyuta, S.P., Kachynskiy, A.B. (2012). Ecological and natural and man-made safety of Ukraine: regional measuring of dangers and risks. K.: NISR (National institute of strategic researches). [in Ukrainian]
 Kussul, N.M., Skakun, S.V., Shelestov, A.Y. (2014). Geo-spatial analysis of natural disasters risks. K.: Scientific through. [in Ukrainian]
 The Code of Civil Protection of Ukraine dated 02.10.2012 № 5403-VI. (2012). Revision of 05.12.2017. [in Ukrainian]
 Zatserkovnyi, V.I., Tishaev, I.V., Virshylo, I.V., Demydov V.K. (2016). Geo-informational systems in sciences about Earth. Nizhyn: Nizhyn State University in name of Hohol. [in Ukrainian]
 Zhyltsov, O.B. (2015). Probability theory and mathematical Statistics In Examples and Objectives. K.: B. Hrychenko University. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 04.07.18

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
 М. Богословський, асп.
 Київський авіаційний університет, кафедра аерокосмічної геодезії
 Пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЗАВДАНЬ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Викладено підхід щодо побудови моделі функціонального стану об'єкта дослідження для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Проведено аналіз причин виникнення і розвитку природно-техногенних надзвичайних ситуацій та визначено найбільш характерні з них.

Аналіз ризику виникнення надзвичайних ситуацій є частиною системного підходу до ухвалення рішень у процесі управління територіями, процедур і практичних заходів у вирішенні завдань управління процесом забезпечення безпеки. Основою аналізу ризику є фізичне і математичне моделювання природних і соціально-економічних систем і процесів, що відбуваються в них, яке передбачає взаємодію основних компонентів системи з навколишнім середовищем у штатних і позаштатних ситуаціях.

Оскільки небезпечні явища (надзвичайні ситуації) відбуваються на певній території, яка має конкретні координати, то цілком зрозуміло, що для оцінки ризику виникнення надзвичайних ситуацій найбільш доцільно використовувати геоінформаційні системи (ГІС) та геоінформаційні технології (ГІТ).

Для опису функціонування об'єкта моніторингу необхідно побудувати його математичну модель. Найповніше стан об'єкта дослідження характеризує його математична функціонально-статистична модель (система рівнянь, що описує залежність параметрів об'єкта моніторингу, його систем і підсистем від зовнішніх і внутрішніх впливів у процесі його функціонування). На основі аналізу цієї моделі з'являється можливість формулювання основних задач, що розв'язуються ГІС у процесі моніторингу природних або соціально-економічних систем, а також синтезувати оптимальну структуру ГІС.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, ризик, оцінка ризиків, модель, геоінформаційні системи, геоінформаційні технології.

В. Зацерковный, д-р техн. наук, зав. каф. геоинформатики,
E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
М. Богословский, асп.
Киевский авиационный университет, кафедра аэрокосмической геодезии
Пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА МОНИТОРИНГА ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Изложен подход для построения модели функционального состояния объекта исследования для задач оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Проведен анализ причин возникновения и развития природно-техногенных чрезвычайных ситуаций и определены наиболее характерные из них.

Анализ риска возникновения чрезвычайных ситуаций является частью системного подхода к принятию решений в процессе управления территориями, процедур и практических мер в решении задач управления процессом обеспечения безопасности. Основой анализа риска является физическое и математическое моделирование природных и социально-экономических систем и процессов, которые происходят в них, предусматривающее взаимодействие основных компонентов системы с окружающей средой в штатных и штатных ситуациях.

Поскольку чрезвычайные ситуации (опасные явления) происходят на определенной территории, которая имеет конкретные координаты, то вполне понятно, что для оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций наиболее целесообразно использовать геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии (ГИТ).

Для описания функционирования объекта мониторинга необходимо построить его математическую модель. Наиболее полно состояние объекта мониторинга характеризует его математическая функционально-статистическая модель (система уравнений, которая описывает зависимость параметров объекта мониторинга, системы и подсистем от внешних и внутренних влияний при его функционировании). На основе анализа этой модели появляется возможность формулирования основных задач, которые решаются ГИС в процессе мониторинга природных или социально-экономических систем, а также синтеза оптимальной структуры ГИС.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, риск, оценка рисков, модель, геоинформационные системы, геоинформационные технологии.

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОЛОГІЯ
Випуск 4(83)

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. 11,4. Наклад 300. Зам. № 218-9058.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл4.
Підписано до друку 28.12.18

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