

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричній базі даних Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Jornal is indexed in Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрической базе данных Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Б.І. Гнатик, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; В.І. Жданов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, доц.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.Г. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Є.Ю. Таран, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; 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 Солюшнс Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, М. Короновський, Московський державний університет імені М.В. Ломоносова; Росія, Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський Державний Технічний Університет, Казахстан; Д. Робертс, Стаффордширський університет, Велика Британія; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; М. Феді, Неапольський Університет Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія
Адреса редколегії	03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології", ☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net
Затверджено	Вченою радою ННІ "Інститут геології" 9 грудня 2015 року (протокол № 8)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1-05/6 від 12.06.02
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Jornal is indexed in Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричній базі даних Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрической базе данных Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar.

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by Yu. Tymchenko

EXECUTIVE EDITOR

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

EDITORIAL BOARD**Ukrainian members:**

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Executive Editor); O. Menshov, Cand. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; B. Gnatyk, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Zhdanov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; M. Zhukov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Zacerkovniy, Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Kurganskiy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytropolskiy, Corr. NAS Ukraine, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; G. Milinevskiy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; V. Nesterovskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Ogar, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Orliuk, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; V. Pavlyshyn, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; G. Prodaivoda, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; E. Taran, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; M. Tolstoy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; T. Pastushenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.; T. Mironchuk, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.

Foreign members:

M. Burianyk, Shell Global Solutions International, The Netherlands; L. Vernik, Marathon Oil Company, USA; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China; M. Koronovskiy, Lomonosov Moscow State University, Russia; D. Lentz, University of New Brunswick, Canada; Q. Liu, China University of Geosciences, China; M. Olivia, University of Lisbon, Portugal; P. Pereira, Mykolas Romeris University, Lithuania; V. Portnov, Karaganda State Technical University, Kazakhstan; D. Roberts, Staffordshire University, Great Britain; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; M. Fedi, University of Naples Federco II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia

Address

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022,
tel. +380442597030, e-mail: geolvisnyk@ukr.net

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
December 09 (Minutes # 8)

Certified by the

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

Certified by the

Ministry of Justice of Ukraine
State Certificate # 16181-4653P issued on 25.12.2009

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ДО ЮВІЛЕЇВ

Шаталов М.

- Професор Є.М. Лазько – видатний вчений і патріарх Львівської школи геології та металогенії докембрію.
До 100-річчя від дня народження.....6

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Жабіна Н., Анікеєва О., Самарська О.

- Нові дані про умови седиментації карбонатного комплексу верхньої юри
на території Переддобрудзького прогину.....11

Гриценко В., Палій В., Деревська К., Руденко К.

- Унікальні колекції вендобіонтів Геологічного музею
Національного науково-природничого музею (ННПМ) НАН України.....18

Анфімова Г.

- Формування колекційного фонду еталонних розрізів як інструмент їх збереження.....25

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Сасд Аль Рашеді, Абді Сіад

- Геохімічна класифікація та характеристика пляжних пісків Абу Дабі, Об'єднані Арабські Емірати:
поєднання кластерного та дискримінантного аналізів30

Беліцька М.

- Мінерали-індикатори умов сучасного річкового седиментогенезу37

Пушкарьов О., Руденко І., Скрипкін В.

- Адсорбування тритію з водних розчинів термічно обробленими глинистими мінералами43

Грінченко О., Бондаренко С., Сидорчук В.

- Ta-Nb мінералізація у рідкіснометальних пегматитах світу та Українського щита.....49

ГЕОФІЗИКА

Бондар К., Цюпа І., Король А.

- Магнітний метод при оцінці забруднення ґрунтового покриву Запоріжжя. Еколого-геохімічне обґрунтування54

Кузьменко Т., Тищенко А., Кузьменко П.

- Теоретико-методологічні аспекти побудови геолого-геофізичних моделей родовищ вуглеводнів61

Тройніч К.

- Комплексна інверсія геофізичних даних із залученням моделювання петрофізичних властивостей67

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Костюченко М., Мокієнко О.

- Оцінка небезпеки розвитку зсувів на території Ботанічного саду імені академіка О.В. Фоміна72

CONTENTS

TO ANNIVERSARIES

Shatalov M.

- Professor E.M. Lazko – an outstanding scientist and patriarch of Lviv school of geology
and Precambrian metallogeny: To the 100th anniversary.....6

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Zhabina N., Anikeyeva O., Samarska O.

- New data on the conditions of sedimentation of Upper Jurassic carbonate complex in the territory
of Predobrogean foredeep11

Grytsenko V., Palij V., Derevska K., Rudenko K.

- Unique collections of Vendobiontes at Geological Museum
of National Museum of Natural History (NMNH), NAS of Ukraine.....18

Anfimova G.

- Formation of reference sections collection funds as an instrument of their conservation25

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Saeed Al Rashedi, Abdi Siad

- Geochemical classification and characterization of the beach sands of Abu Dhabi,
United Arab Emirates: a combination of cluster and discriminant analysis30

Belitska M.

- Minerals – indicators of conditions of the modern river sedimentogenesis37

Pushkarev A., Rudenko I., Skripkin V.

- Adsorption of tritium from aqueous solutions of treated clay minerals43

Grinchenko O., Bondarenko S., Sydorochuk V.

- Ta-Nb mineralization in rare-metal pegmatites of the world and Ukrainian Shield49

GEOPHYSICS

Bondar K., Tsyupa I., Korol A.

- Magnetic method of Zaporizhzhya soil pollution assessment: Ecological and geochemistry justification54

Kuzmenko T., Tyschenko A., Kuzmenko P.

- Theoretical and methodological aspects of creating of geological and geophysical model of hydrocarbon fields61

Troinich K.

- Simultaneous geophysical data inversion with using petrophysical properties modeling.....67

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Kostyuchenko N., Mokienko O.

- Landslide risk assessment in O.V. Fomin Botanical Garden72

СОДЕРЖАНИЕ

К ЮБИЛЕЯМ

Шаталов Н.

- Профессор Е.М. Лазько – выдающийся ученый и патриарх Львовской школы геологии и металлогении докембрия. К 100-летию со дня рождения6

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Жабина Н., Аникеева Е., Самарская Е.

- Новые данные об условиях седиментации карбонатного комплекса верхней юры на территории Преддобруджского прогиба.....11

Гриценко В. Палий В., Деревская Е., Руденко К.

- Уникальные коллекции вендобионтов Геологического музея Национального научно-природоведческого музея (ННПМ) НАН Украины18

Анфимова Г.

- Формирование коллекционного фонда эталонных разрезов как инструмент их сохранения25

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Сайед Аль Рашеди, Абди Сиад

- Геохимическая классификация и характеристика пляжного песка Абу Даби, Объединенные Арабские Эмираты: сочетание кластерного и дискриминантного анализа30

Белицкая М.

- Минералы-индикаторы условий современного речного седиментогенеза37

Пушкарев А., Руденко И., Скрипкин В.

- Адсорбция трития из водных растворов термически обработанными глинистыми минералами.....43

Гринченко А., Бондаренко С., Сидорчук В.

- Ta-Nb минерализация в редкометалльных пегматитах мира и Украинского щита49

ГЕОФИЗИКА

Бондарь К., Цюпа И., Король А.

- Магнитный метод при оценке загрязнения почвенного покрова Запорожья: эколого-геохимическое обоснование54

Кузьменко Т., Тищенко А., Кузьменко П.

- Теоретико-методологические аспекты построения геолого-геофизических моделей месторождений углеводородов61

Тройнич К.

- Комплексная инверсия геофизических данных с использованием моделирования петрофизических свойств67

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Костюченко Н., Мокиенко А.

- Оценка опасности развития оползней на территории Ботанического сада имени академика А.В. Фомина72

ДО ЮВІЛЕЇВ

УДК 55.092

М. Шаталов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
Інститут геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара, 55-6, м. Київ, 01022, Україна
E-mail: geoj@bigmir.net

**ПРОФЕСОР Є.М. ЛАЗЬКО – ВИДАТНИЙ ВЧЕНИЙ І ПАТРІАРХ
ЛЬВІВСЬКОЇ ШКОЛИ ГЕОЛОГІЇ ТА МЕТАЛОГЕНІЇ ДОКЕМБРІЮ
(ДО 100-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)**

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

Наведено головні, визначальні для свого часу, ідеї та результати досліджень професора Є.М. Лазька в галузі вивчення геології раннього докембрію. Серед головних положень, що стали підставою і зумовили особливості створеної ним наукової школи докембрійської геології та геолого-формаційних досліджень Львівського університету, розглянуто такі, як специфіка ранніх стадій еволюції земної кори, обґрунтування її незворотнього розвитку, застосування парагенетичного методу геолого-формаційних досліджень стосовно докембрійських комплексів щитів та широке впровадження цього методу і його результатів у геологічну практику, зокрема під час геолого-знімальних робіт на Українському щиті. Коротко розглянуто головні напрями металогенічних досліджень раннього докембрію, які виконував Є.М. Лазько, та їхній зв'язок з геолого-формаційним вивченням щитів. Розглянуто внесок представників наукової школи Є.М. Лазька у становлення формаційної геології Українського щита та наукові праці в галузях стратиграфії, магматизму і тектоніки. Висвітлено значення школи Є.М. Лазька для створення загальної моделі геологічної еволюції ранньої Землі.

Ключові слова: Український щит, формації, еволюція, нижній докембрій, ранній докембрій, архей, протерозой, геологічні формації, зеленокам'яні структури, металогенія.

15 вересня 2015 року минуло 100 років від дня народження видатного геолога-докембриста Євгена Михайловича Лазька. Він народився в м. Воронцово-Олександрівськ Ставропольського краю. У 1934 р. став студентом Московського геолого-розвідувального інституту (МГРІ), який закінчив із відзнакою у 1939 р. У тому же році був прийнятий до аспірантури. Навчання в аспірантурі він поєднує з виробничою роботою головного геолога та начальника геологічної партії Всесоюзного тресту "Головзолото". В роки війни як головний інженер експедиції виконував урядові завдання з пошуків, розвідки та видобутку п'єзооптичної мінеральної сировини в Середній Азії та Алданському регіоні.

У 1946 р. Є.М. Лазько захистив кандидатську дисертацію, розпочав педагогічну діяльність на кафедрі мінералогії й петрографії Московського інституту кольорових металів і золота. Одночасно працює головним геологом Нерчинської, а потім – начальником Алтайської експедиції Міністерства геології СРСР.

У 1950 р. наказом Міністерства вищої освіти СРСР Євген Михайлович був переведений до Львівського університету, із геологічним факультетом якого пов'язана вся його науково-педагогічна діяльність. У цьому університеті він працював на посадах завідувача кафедр геології СРСР та пошуків та розвідки родовищ корисних копалин, а в останні роки – професора-консультанта. Тут повною мірою розкрився його багатогранний талант як ученого світового рівня і педагога.

У 1955 р. Є.М. Лазько захищає докторську дисертацію "Геологические условия формирования пьезокварцевых месторождений Алдана", а наступного року йому було присуджено звання професора. Кришталева п'єзокварцова проблематика була яскравою сторінкою наукової діяльності вченого. Різні її аспекти (геолого-генетичні, економічні) він вирішував у важкі воєнні та післявоєнні роки в межах кварцово-жильних провінцій Паміру, Алдану, Полярного Уралу. Результати цих досліджень викладені в монографії "Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис" (1957) [10].

Більше шістдесят років Є.М. Лазько проводив геологічні та пошуково-оцінювальні роботи в багатьох регіонах СРСР – в Україні, Казахстані, на Алдані, Забайкаллі, Алтаї, Далекому Сході, Кавказі, Карелії й Кольському півострові. Різнобічні дослідження геологічної бу-

дови й родовищ корисних копалин указаних вище регіонів покладено в основу численних наукових праць Є.М. Лазька.

Значну увагу Євген Михайлович приділяв проблемам геології нижнього докембрію. Базові польові дослідження докембрію він розпочав на території Алданського щита у 1943 р. і продовжував десять років, виконуючи узагальнення та теоретичне осмислення матеріалів регіональних спостережень, геологічного картування та лабораторних аналізів. Його дослідження докембрію Алдана узагальнені у монографії "Геологическое строение западной части Алданского кристаллического массива" (1956) [2].

Далі професор Є.М. Лазько, вперше в СРСР, започаткував порівняльний історико-геологічний підхід до вивчення раннього докембрію різних регіонів. Ці ідеї виявлялися тривалий час визначили один з перспективних напрямів вивчення докембрію – **порівняльне історико-геологічне дослідження ранньодокембрійських комплексів**. Є.М. Лазьку належить висновок про принципову відмінність архейського та протерозойського етапів розвитку земної кори. В працях на цю тему він протиставляв архей і протерозой через усебічне порівняння архейських і протерозойських комплексів, їхнього осадконакопичення, магматизму, метаморфізму, тектоніки та ендегенної мінералогії. Такий підхід учений узагальнив у своїй фундаментальній монографії "Основы региональной геологии СССР. Т. 3. История формирования структуры" (1971) [4].

Найімовірніше, ця ідея фундаментальних праць "Основы региональной геологии СССР" [4-8] у трьох томах зародилася в Є.М. Лазька наприкінці 50-х років. Перший том, присвячений Європейській частині СРСР та Кавказу, вийшов у 1962 р. [5]. Ця книга опублікована як перший навчальний посібник для студентів геологічних вузів та факультетів СРСР. Однак, на тривалий час вона стала також і довідковим виданням для геологів усієї країни. Саме під час цієї роботи, яка потребувала використання всього найновішого на той час регіонального матеріалу, в тому числі, й щодо щитів давніх платформ, вчений звернув увагу на дуже витриманий у різних регіонах загальний вигляд різновікових комплексів, їхні стійкі ознаки та відмінності. У другому томі наведено узагальнення щодо інших регіонів Євразії, розташованих за межами

СРСР [6]. Є.М. Лазько, характеризуючи архейські й протерозойські утворення, не тільки зазначив, а вже конкретно назвав ці регіони і перейшов до наукового узагальнення проблеми. Загальним підсумком став його висновок-заклик до розробки нових методів вивчення архею. Цей висновок свідчить про фактичний відхід Є.М. Лазька від майже загальноприйнятих на той час уявлень про геосинклінально-платформний розвиток земної кори протягом усієї геологічної історії, якого він сам дотримувався у ранніх працях, про визнання обмеженого застосування до архею загальнонаукового геологічного методу актуалізму.

Пізніше для цього найдавнішого – архейського – етапу розвитку земної кори Євген Михайлович використав назву "догеосинклінальний". Така назва надовго утвердилася в працях прихильників цієї ідеї як антипод пізньому, геосинклінальному, етапу розвитку земної кори. Сам Є.М. Лазько значення цього поділу бачив у тому, що не лише архейські, а й усі **нижньодокембрійські комплекси** потребували, на його думку, порівняльного вивчення. Що ж до найдавніших утворень, то він вважав, що має бути створено нову термінологію. Зазначимо, що уявлення про специфіку ранніх стадій розвитку земної кори та їхнє протиставлення геосинклінальному етапу деякі вчені висловлювали й раніше. Ці висловлювання були, скоріше, науковими здогадками. Однак, у працях Є.М. Лазька висновок про **догеосинклінальний етап** – це аргументоване на той час наукове положення, що утверджувало, фактично, еволюційний підхід до розуміння історії розвитку земної кори в докембрії. Саме на цьому напрямі історико-геологічного порівняння ранньодокембрійських (архей і протерозой) комплексів, внаслідок загальнонаукової ревізії та вдосконалення загальної стратиграфічної шкали докембрію, Євген Михайлович запропонував застосувати метод формаційного розчленування комплексів, або формаційного аналізу. Ця пропозиція стала другою **плідною ідеєю** щодо вивчення кристалічного фундаменту щитів, яка згодом оформилася у новий науковий напрям **порівняльних геолого-формаційних досліджень нижнього докембрію**, на базі якого й розвинулася, згодом загальноновизнана, **наукова школа докембрійської геології та геолого-формаційних досліджень Львівського університету**.

Розвитком цього підходу стала запропонована Євгеном Михайловичем ідея застосування парагенетичного напрямку формаційного аналізу при вивченні ранньодокембрійських утворень. Проведені під його керівництвом дослідження докембрію Українського щита (УЩ) згодом привели до формування загальновідомої в Україні та за її межами Львівської геолого-формаційної школи геологів-докембристив. Яскравими представниками цієї школи є В.П. Кирилюк, А.О. Сіворонов, К.І. Свешніков, Г.М. Яценко, А.М. Лисак, Ю.В. Ляхов, О.Б. Бобров, М.М. Павлунь, Н.І. Мязь, Т.С. Ізотова, І.С. Паранько, В.І. Лашманов, В.Г. Пашенко та інші. Численні публікації результатів досліджень учених цієї школи стали вагомим внеском у вивчення УЩ, його геолого-формаційне та стратиграфічне розчленування, розв'язання багатьох питань петрології, магматизму, металогеї та тектонічної структури. Львівською школою геологів-докембристив цим проблемам присвячена низка монографій, співавтором і редактором яких був Є.М. Лазько, – "Нижний докембрий западной части УЩ. Возрастные комплексы и формации" (1975) [13], "Методические указания по изучению докембрия" (1970, 1979) [12], "Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Зеленокаменные пояса и роль вулканизма в формировании месторожде-

ний" (1990) [1], "Железонакопление в докембрии" (1992). Вперше в світовій практиці розроблено варіант систематики геологічних формацій нижнього докембрію. Для нижнього докембрію УЩ розроблено рангову класифікацію формацій. Розроблено також вдосконалення на формаційній основі чинної кореляційної хроностратиграфічної схеми та легенд геологічних карт. Вони суттєво підвищують загальну ефективність картографування кристалічної основи щита. На формаційній основі розроблено також науково обґрунтовану методику та технологію геотектонічного аналізу фундаменту УЩ під час проведення геологічної зйомки.

У праці Є.М. Лазька "**Основы региональной геологии СССР**" (1965) [6], зокрема, стверджено, що "виділення та вивчення геологічних формацій ранніх етапів розвитку земної кори має базуватися на методі, розробленому М.С. Шатським і його учнями" (рос.) ("**...Выделение и изучение геологических формаций ранних этапов развития земной коры должно базироваться на методе, разработанном Н.С. Шатским и его учениками**"). Зазначимо, що цей заклик професора Є.М. Лазька знайшов відгук не лише серед науковців Львівської школи геології докембрію, яка на той час уже досить розширилася, а й серед геологів-знімальників, і навіть серед керівного складу геологічних експедицій та Міністерства геології України, що сприяло поширенню методу й прийомів формаційного аналізу в геологічній практиці. Роботи Львівської школи з 1966 р. спрямовані на польові геолого-формаційні дослідження в західній частині УЩ. Ця частина щита виявилася благодатною для виконання поставлених завдань як з огляду на непогану відслоненість, так і через наявність тут трьох виразно відмінних між собою за ступенем метаморфізму комплексів: монофаціальних грануліто-гнейсового й амфіболіто-гнейсового, а також поліфаціального гнейс-сосланцевого, метаморфізованого в умовах епідот-амфіболітової та низів амфіболітової фацій, з виразними ознаками осадового походження.

Працю Є.М. Лазька, В.П. Кирилюка, Г.М. Яценка й А.О. Сіворонова "**Методические указания по формационному анализу высокометаморфизованных комплексов докембрия УЩ**" [12] виконано в 1970 р. на замовлення Міністерства геології УРСР. Вона містила тільки найзагальніші положення формаційного аналізу, а також деякі рекомендації стосовно застосування формаційних досліджень під час геологічного картування. Проте, комплексна програма вивчення геології докембрію УЩ передбачала також створення формаційних карт регіону як підстави для наукового обґрунтування пошуків корисних копалин, а це потребувало опрацювання методичної основи. З огляду на це, В.П. Кирилюк, А.М. Лисак і К.І. Свешніков, за редакцією Євгена Михайловича, уклали нові, ґрунтовніші, методичні рекомендації для створення карт формацій раннього докембрію: "**Методические указания по составлению карт формаций раннего докембрия Украины для целей геологического картирования и металлогенического прогноза**". – Київ: Мінгео УРСР, 1979.

Досвід геолого-формаційного картографування вперше узагальнено на "**Карте геологических формаций докембрия УЩ масштаба 1:1 000 000**", що вийшла за редакцією Є.М. Лазька й стала складовою частиною комплексу карт "**Геология и металлогения докембрия УЩ**". Ця карта стала результатом спільної праці різних за поглядами колективів геологів Львівського університету та Центральної тематичної експедиції Міністерства геології УРСР (керівник – професор Л.С. Галецький). Головне її досягнення таке: на цій карті вперше для УЩ, як і для інших щитів, відображено не уявні, рестав-

ровані первинні формації, а реальні парагенезиси метаморфічних і метаморфізованих порід, тобто конкретні супракрустальні та метаморфізовані формації. Як вважають львівські вчені, важливе значення цієї карти полягає ще й у тому, що саме її використано як геологічну основу для двох інших карт з цього комплексу, а саме: для "Геохимической карты кристаллического основания УЩ" і "Металлогенической карты", що започаткувало узагальнення матеріалу не тільки на традиційній віковій, а й на геолого-формаційній основі. Після набуття досвіду складання карти, Є.М. Лазько наполіг на створенні досконалішої "Карты геологических формаций докембрия УЩ" масштабу 1:500 000. Роботу над нею закінчили у 1989 р., а сама карта вийшла 1991 р. у двох варіантах, окремо російською й англійською мовами, з відповідними пояснювальними записками. Карту склав колектив авторів – співробітників Львівського університету та провідних геологів-знімальників управління Укргеологія Міністерства геології СРСР з різних районів УЩ, за загальною редакцією Є.М. Лазька та його заступників О.І. Зарицького та А.М. Лисака. На цій карті найповніше відображений стан геолого-формаційного розчленування докембрійського фундаменту УЩ на послідовних морфопарагенетичних засадах, що полягає у виділенні конкретних геологічних формацій як реальних парагенезисів породних тіл. Принципи складання та зміст карти висвітлені як у пояснювальних записках, так і в окремій праці Є.М. Лазька й співаторів, присвяченій цій темі [3]. Згідно з цією працею: "Карта є вираженою за допомогою структурно-речовинних підрозділів статичною моделлю будови УЩ, яка за наявності відповідних даних легко може бути трансформована в геоісторичні, геодинамічні та інші моделі ретроспективного характеру, а також використана для прогнозно-металогенічних побудов" (рос.) ("Карта представляет собой выраженную с помощью структурно-вещественных подразделений статическую модель строения УЩ, которая при наличии соответствующих данных легко может быть трансформирована в геоисторические, геодинамические и другие модели ретроспективного характера, а также использована для прогнозно-металлогенических построений") [3; с. 28]. Ця модель складається з найпоширенішого на той час поділу фундаменту УЩ на низку геологічних районів, яким наданий статус і відповідні назви "структурно-формаційних областей", та повного переліку і відображення на карті геологічних формацій. Усі геологічні формації фундаменту розділено на чотири класи – формації супракрустальні, метаморфізовані, плутонометаморфічні та плутонічні. Кожен з класів позначений індексом, формації різних класів об'єднані у структурно-формаційні комплекси, що, здебільшого, відповідають віковим підрозділам. Конкретні комплекси належать до шести типів структурно-формаційних комплексів (СФК), теж позначених власними індексами. Загалом індекс конкретних формацій на карті складається з трьох частин – індексу належності до класу формацій, індексу належності до типу СФК та букв, що позначають скорочену назву формацій. Так була втілена у життя думка М.С. Шатського, яку повністю поділяв Є.М. Лазько, неодноразово її повторював і взяв за епіграф у одній з уже згаданих праць: "У подальшому наука буде застосовувати не лише індекси віку, але й індекси формацій. Це буде дивовижно цікава геологія" (рос.) ("В дальнейшем наука будет применять не только индексы возраста, но и индексы формаций. Это будет изумительно интересная геология") [9; с. 32].

Разом із суто геолого-формаційними аспектами докембрію, Є.М. Лазько завжди займався загальними питаннями корисних копалин і металогенії, зосередив увагу саме на цьому напрямі досліджень. Проблема ме-

талогенії нижнього докембрію як одному з важливих аспектів докембрійської геології Євген Михайлович постійно приділяв значну увагу, особливо з 1963 р., коли він очолив кафедру пошуків та розвідки корисних копалин Львівського університету. Досягнення Є.М. Лазька в цій галузі вагомі. За основу металогенічних досліджень учений узяв формаційний аналіз родовищ корисних копалин. Бездоганна логіка підказала йому єдино правильний парагенетичний напрям рудно-формаційного аналізу. Тобто, ідеологію парагенетичного підходу до виділення формацій було поширено й на рудні об'єкти.

Аналіз історії вивчення родовищ металічних корисних копалин дав змогу Є.М. Лазькові застосувати парагенетичний підхід до виділення рудних формацій. Виділення рудних формацій на парагенетичних засадах забезпечує, як писав про це Є.М. Лазько, відтворення і, відповідно, необхідну об'єктивність досліджень. Є.М. Лазько акцентував увагу на тому, що генетичні побудови, що супроводжують вивчення рудних формацій, є не засобом, а метою формаційного аналізу. Учений обґрунтовано доводив, що без рудно-формаційного аналізу неможливе створення ґрунтовної наукової підстави для цілеспрямованих пошуків з метою виявлення та прогнозування родовищ корисних копалин. Не менше значення виділення й систематизація рудних формацій мають для створення загальної класифікації рудних родовищ, яку можна використовувати для металогенічного аналізу будь-якого з регіонів. Свій доробок у напрямі рудно-формаційного аналізу Є.М. Лазько вклав у підручнику "Рудні формації".

Вчений вважав, що найважливішою особливістю металогенічного напрямку наукових досліджень, передусім, є те, що металогенічний аналіз нижнього докембрію щитів давніх платформ ґрунтується на геологічних формаціях і структурно-формаційних комплексах, відокремлених за парагенетичними критеріями. Як неодноразово він зазначав, геолого-формаційна база металогенічних побудов є найоб'єктивнішою й природною. Крім того, металогенічні побудови Є.М. Лазька завжди були еволюційними та яскраво відображали спрямованість і незворотність геологічних процесів протягом усієї ранньодокембрійської історії земної кори. Дослідження Є.М. Лазька в галузі металогенії ранніх етапів розвитку земної кори ґрунтуються на аналізі величезного матеріалу майже по всіх відомих родовищах щитів давніх платформ континентів. Головними полігонами для цих металогенічних досліджень стали відомі за його власними спостереженнями Алдано-Вітимський, Український і Балтійський щити. Крім того, він мав нагоду під час Міжнародних конгресів та зарубіжних відряджень відвідати й особисто ознайомитися з низкою родовищ Канадського, Індійського, Західно-австралійського щитів та Східної Африки. Є.М. Лазько дійшов висновку, що у розвитку рудогенерувальних процесів, а отже і рудних формацій, відбувалося чергування еволюційних і стрибкоподібних етапів. На етапі формування певного структурно-формаційного комплексу рудний процес еволюціонував, водночас на рубежі між деякими комплексами простежено виразний стрибок – відбувалася якісна зміна генетичних типів рудогенних процесів, змінився набір видів корисних копалин і масштабність їхнього прояву.

За Є.М. Лазьком, для нижньоархеїських комплексів типовими є переважно неметалічні родовища графітової, апатитової, флогопітової й високоглиноземистої формацій, відома також смугаста залізородна формація. Для тоналіт-зеленокам'яних комплексів навпаки, характерні металічні родовища. Металогенії цих комплексів, з якими пов'язаний колосальний вибух ендегенної металогенічної активності, він приділяв особливу увагу. Разом з О.Б. Бобровим і А.О. Сівороновим, ученим виявлено геолого-формаційний контроль золотого

зруденіння зеленокам'яних поясів і виділено три головні золоторудні формації: кварцовожильну, золотоносних мінералізованих зон і золотоносних джеспілітів. Металогенічна специфіка архейських зеленокам'яних поясів доведена Є.М. Лазьком також на прикладі рудних формацій кольорових металів. Це мідно-нікелева формація в коматіїтах, нікелева формація в інтрузивних ультра-базитах, мідно-нікелева формація в осадових породах, мідно-цинково-колчеданна формація в магматитах вапняково-лужної серії та ін.

Вагомим внеском у металогенію заліза є праця Є.М. Лазька про архейські залізоторудні формації, які виділено на підставі геолого-формаційного аналізу. Дуже своєрідною та неповторною є металогенія гранітоїдно-метаосадових комплексів першої половини протерозою. Достатньо згадати залізоторудні й золоторудні (формація золотоносних конгломератів) гіганти різних щитів світу. Результатами металогенічних досліджень присвячена монографія "Металлогенія архея" [11], підготовлена до видання Є.М. Лазьком разом з його учнями.

Значним здобутком Є.М. Лазька є роботи, присвячені теорії рудогенезу. У них розроблено теоретичні та прикладні основи нового в рудній геології напрямку – термобарогеохімії ендегенних рудних формацій. Це були перші у світовій практиці спроби переведення пошуково-оцінювальних досліджень на принципово новий рівень, який базується на конкретних характеристиках рудогенних систем. Теоретичні узагальнення цього напрямку діяльності Є.М. Лазька висвітлені ним разом із його учнями в монографії "Фізико-хімічні основи прогнозування постмагматического оруднення" (1981). Саме в монографії він започаткував ще один напрямок геолого-генетичних досліджень, який одержав назву "прикладна термобарогеохімія". Численні публікації вченого зробили вагомий внесок у подальший розвиток учення про корисні копалини.

Помітним внеском були дослідження вченого з розвитку вчення про глибинні розломи. Раніше він виділив і описав Монголо-Охотський глибинний розлом у Східній Азії, а разом з Д.П. Резвим обґрунтував існування Закарпатського глибинного розлому (1962).

Значними здобутками Євгена Михайловича у педагогічній діяльності є цілий ряд основних та спеціальних дисциплін, серед яких особливе місце посідає курс "Геологія СРСР". Його посібник "Основи регіональної геології СРСР" (1975) вважався основним підручником для геологічних спеціальностей вищих навчальних закладів Радянського Союзу. В останні роки життя Є.М. Лазько підготував навчальний посібник "Ендегенні рудні формації" (2002).

Загальний внесок Є.М. Лазька в науку вінчають понад 230 опублікованих праць, у тому числі 8 особистих та 6 колективних монографій. Серед його учнів – 8 докторів та 30 кандидатів наук. Пішов із життя вчений 27 вересня 2000 р. на 86-му році життя.

Визнанням високого авторитету Є.М. Лазька було присвоєння йому звання "Заслужений діяч науки УРСР" (1985) і вручення нагороди Ярослава Мудрого (1995). Він був учасником XII-XVII сесій Міжнародного геологічного конгресу, членом Міжнародної асоціації по рудоутворюючих розчинах Міжвідомчого тектонічного комітету СРСР, ряду наукових рад (Геологія докембрію АН СРСР, Геохімія земної кори), членом експертної комісії ВАК СРСР, членом Комісії з присудження Державних премій УРСР, членом стратиграфічного комітету, членом низки редакційних колегій, головою та членом спеціалізованих рад із захисту дисертацій.

Серед видатних учених другої половини XX ст., чия діяльність була спрямована на дослідження ранніх етапів розвитку земної кори, одне з провідних місць посідає Є.М. Лазько. Його ідеї, праці та публікації його учнів

і послідовників зробили значний внесок у геологію окремих регіонів території колишнього СРСР. Багато вчених держави залишили глибокий слід у геології. Однак, далеко не всі вони створили протягом життя наукові школи. Життєздатність наукових ідей тільки тоді буде забезпечена, якщо вони набудуть подальшого розвитку в працях учнів-послідовників. Таким ученим і педагогом був професор Євген Михайлович Лазько. Він був людиною високої культури, енциклопедичних знань і вченим, діяльність якого залишила яскравий слід у геологічній науці України, колишнього СРСР та історії геологічного факультету Львівського університету.

Список використаних джерел

1. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР / Е. М. Лазько, А. А. Сиворонов, М. А. Ярошук и др. – Киев: Наук. думка, 1990. – 172 с.
2. Лазько Е. М. Геологическое строение западной части Алданского кристаллического массива / Е. М. Лазько. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1956. – 198 с.
3. Лазько Е. М. О структурно-вещественном подходе к изучению геологической структуры докембрия щитов и построению формационных карт / Е. М. Лазько, А. И. Зарицкий, А. М. Лысак // Геол. журн. – 1994. – №1. – С. 25–35.
4. Лазько Е. М. Основы региональной геологии СССР [Текст]. Т. 3. История формирования структуры / Е. М. Лазько. – М.: Недра, 1971. – 344 с.
5. Лазько Е. М. Основы региональной геологии СССР [Текст]. Т. 1. Европейская часть и Кавказ / Е. М. Лазько. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1962. – 424 с.
6. Лазько Е. М. Основы региональной геологии СССР [Текст]. Т. II. Азиатская часть / Е. М. Лазько. – М.: Недра, 1965. – 551 с.
7. Лазько Е. М. Основы региональной геологии СССР [Текст]. Т. 1. Европейская часть и Кавказ / Е. М. Лазько. – М.: Недра, 1975. – 334 с.
8. Лазько Е. М. Основы региональной геологии СССР [Текст]. Т. 2. Азиатская часть / Е. М. Лазько. – М.: Недра, 1975. – 464 с.
9. Лазько Е. М. Формационный анализ и его роль в изучении высокометаморфизованных толщ раннего докембрия // Проблемы геологии докембрия. – К.: Наук. думка, 1971. – С. 32–43.
10. Лазько Е. М. Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис / Е. М. Лазько. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1957. – 205 с.
11. Металлогенія архея / Е. М. Лазько, А. А. Сиворонов, А. Б. Бобров, Д. С. Гурский. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 158 с.
12. Методические указания по формационному анализу высокометаморфизованных комплексов докембрия Украинского щита / Е. М. Лазько, В. П. Кирилюк, А. А. Сиворонов, Г. М. Яценко. – Киев, 1970. – 42 с.
13. Нижний докембрий западной части Украинского щита (возрастные комплексы и формации) / Е. М. Лазько, В. П. Кирилюк, А. А. Сиворонов, Г. М. Яценко. – Львов: Вища школа, 1975. – 236 с.

References

1. Lazko, E.M., Sivoronov, A.A., Yaroshchuk, M.A. et al. (1990). *Zhelezisto-kremnistye formatcii dokembriia Evropeiskoi chasti SSSR*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
2. Lazko, E.M. (1956). *Geologicheskoe stroenie zapadnoi chasti Aldanskogo kristallicheskogo massiva*. Lvov: Izdatelstvo Lvovskogo universiteta. (in Russian)
3. Lazko, E.M., Zaritskii, A.I., Lysak, A.M. (1994). O strukturno-veshchestvennom podkhode k izucheniiu geologicheskoi struktury dokembriia shchitov i postroeniiu formatsionnykh kart. *Geologicheskii zhurnal*, 1, 25–35. (in Russian)
4. Lazko, E.M. (1971). *Osnovy regionalnoi geologii SSSR*. Vol. 3. *Istoriia formirovaniia struktury* (344 pp.). Moscow: Nedra. (in Russian)
5. Lazko, E.M. (1962). *Osnovy regionalnoi geologii SSSR*. Vol. I. *Evropeiskaia chast i Kavkaz* (424 pp.). Lvov: Izdatelstvo Lvovskogo universiteta. (in Russian)
6. Lazko, E.M. (1965). *Osnovy regionalnoi geologii SSSR*. Vol. II. *Aziatskaia chast* (551 pp.). Moscow: Nedra. (in Russian)
7. Lazko, E.M. (1975). *Osnovy regionalnoi geologii SSSR*. Vol. 1. *Evropeiskaia chast i Kavkaz* (334 pp.). Moscow: Nedra. (in Russian)
8. Lazko, E.M. (1975). *Osnovy regionalnoi geologii SSSR*. Vol. 2. *Aziatskaia chast* (464 pp.). Moscow: Nedra. (in Russian)
9. Lazko, E.M. (1971). *Formatsionnyi analiz i ego rol v izuchenii vysokometamorfizovannykh toshch rannego dokembriia*. In *Problemy geologii dokembriia* (pp. 32–43). Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
10. Lazko, E.M. (1957). *Khrustalenosnye kvartsevyie zhily i ikh genezis*. Lvov: Izdatelstvo Lvovskogo universiteta. (in Russian)
11. Lazko, E.M., Sivoronov, A.A., Bobrov, A.B., Gurskii, D.S. (2005). *Metallogeniia arkheia*. Lvov: ZUKTs. (in Russian)
12. Lazko, E.M., Kyryliuk, V.P., Sivoronov, A.A., Yatsenko, H.M. (1970). *Metodicheskie ukazaniia po formatsionnomu analizu vysokometamorfizovannykh kompleksov dokembriia Ukrainского shchita*. Kiev. (in Russian)
13. Lazko, E.M., Kyryliuk, V.P., Sivoronov, A.A., Yatsenko, H.M. (1975). *Nizhnii dokembrii zapadnoi chasti Ukrainского shchita (vozrastnye komplekсы i formatcii)*. Lvov: Vyshcha shkola. (in Russian)

Надійшла до редколегії 01.11.15

M. Shatalov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher
Institute of Geological Sciences
National Academy of Sciences of Ukraine
55-b Oles Honchar Str., Kyiv, 01022, Ukraine
E-mail: geoj@bigmir.net

**PROFESSOR E.M. LAZKO – AN OUTSTANDING SCIENTIST AND PATRIARCH
OF LVIV SCHOOL OF GEOLOGY AND PRECAMBRIAN METALLOGENY:
TO THE 100TH ANNIVERSARY**

Main, determinative for that time ideas and results of Prof. E.M. Lazko's investigations are presented. Among the main topics discussed, that form the basis and determined peculiarities of scientific school on Precambrian geology and geological-and-formation investigation developed by him at Lviv University, him about are such as specificity of early stages of the Earth's crust evolution and its irreversible development, application of paragenetic method for geologic formation investigations of Precambrian complexes and wide implementation of this method into geological practice, particularly during geological survey works on the Ukrainian shield. Main directions of the metallogenic investigations of the Early Precambrian that carried out by E.M. Lazko and their relations with geological formation researches of the shields are considered. The contribution of representatives of E.M. Lazko's scientific school in the development of formational geology, stratigraphy, magmatic geology and tectonics of Ukrainian shield is considered. These investigations landmarked the creation of integrated geological model of the early Earth's evolution.

Keywords: Ukrainian shield, formations, evolution, Lower Precambrian, Early Precambrian, Archean, Proterozoic, geological formations, greenstone associations, metallogeny.

Н. Шаталов, д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник
Институт геологических наук НАН Украины
ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01022, Украина
E-mail: geoj@bigmir.net

**ПРОФЕССОР Е.М. ЛАЗЬКО – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И ПАТРИАРХ
ЛЬВОВСКОЙ ШКОЛЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ ДОКЕМБРИЯ
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

Приведены главные, определяющие для своего времени, идеи и результаты исследований профессора Е.М. Лазько в области изучения геологии раннего докембрия. Среди главных положений, которые стали основанием и обусловили особенности созданной им научной школы докембрийской геологии и геолого-формационных исследований Львовского университета, рассмотрены такие, как специфика ранних стадий эволюции земной коры, обоснование ее необратимого развития, применение парагенетического метода геолого-формационных исследований к докембрийским комплексам щитов и широкое внедрение этого метода и его результатов в геологическую практику, в частности, во время геолого-съёмочных работ на Украинском щите. Коротко рассмотрены главные направления металлогенических исследований раннего докембрия, которые выполнял Е.М. Лазько, и их связь с геолого-формационным изучением щитов. Рассмотрен вклад представителей научной школы Е.М. Лазько в становление формационной геологии Украинского щита и научные работы в областях стратиграфии, магматизма и тектоники. Освещено значение школы Е.М. Лазько для создания общей модели геологической эволюции ранней Земли.

Ключевые слова: Украинский щит, формации, эволюция, нижний докембрий, ранний докембрий, архей, протерозой, геологические формации, зеленокаменные структуры, металлогения.

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.762.3:56.074.6:551.86(477.8)

Н. Жабіна, д-р геол. наук
Інститут геологічних наук НАН України
вул. Олеса Гончара, 55-6, м. Київ, 01022, Україна
E-mail: zhabinanatalia@gmail.com

О. Анікєєва, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: geolena@ukr.net

О. Самарська, канд. геол.-мінералог. наук
Львівське відділення УкрДГРІ, м. Львів, Україна
E-mail: elena.samarska@gmail.com

НОВІ ДАНІ ПРО УМОВИ СЕДИМЕНТАЦІЇ КАРБОНАТНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРХНЬОЇ ЮРИ
НА ТЕРИТОРІЇ ПЕРЕДДОБРУДЗЬКОГО ПРОГИНУ

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

Наведено результати комплексних мікропалеонтологічних та мікрофаціальних досліджень верхньоярських відкладів Переддобрудзького регіону України. Згідно з чинною стратиграфічною схемою, відклади верхньої юри на території Переддобрудзького прогину представлені карбонатним комплексом, у складі якого присутні рифогенні фації середнього оксфорду-нижнього кімериджу, й теригенними лагунно-континентальними утвореннями верхнього кімериджу-титону. Проведені дослідження дозволили вперше виявити у цих відкладах планктонну мікрофауну – тинтиніди – в утвореннях оксфорду й титону, здійснити мікрофаціальну характеристику порід, на цій основі встановити наявність пелагічних, імовірно передрифових, відкладів верхнього титону та зарифових утворень кімериджу, титону та титону-беріасу. Це дало підстави для переінтерпретації віку, фаціального складу та умов формування відкладів верхньої юри Переддобрудзького прогину. Визначено фаціальний склад верхньоярського комплексу: в оксфорді – передрифова, рифова, зарифова фації, у кімериджі – зарифова та лагунна, у титоні – передрифова, зарифова й лагунна фації. Аналіз вертикальної послідовності порід у досліджених розрізах дозволив визначити умови формування верхньоярських відкладів Переддобрудзького прогину та їх зміни у часі під впливом трансгресивно-регресивних подій. У оксфорді відклади формувались на неглибокому морському шельфі: на півдні – більш глибоководні пелагічні, на північному сході – мілководні зарифові, а рифова зона простягалась дугою з північного заходу на південний схід. Тривалий регресивний фон зумовив вертикальну зональність рифових споруд оксфорду в регіоні. У результаті значного обміління басейну в ранньому кімериджі пелагічні відклади оксфорду були перекриті мілководними утвореннями, а на більшій частині території почала формуватись евалоритова лагуна. У титоні внаслідок глобальної трансгресії відновились морські умови на півдні та в центрі прогину, де відбувалось накопичення карбонатів, а на піднятій периферії басейну продовжувала існувати лагуна. Карбонатний комплекс верхньої юри в регіоні в подальшому був значно еродований, частково перекритий насувними структурами, тому цілісний рифогенний комплекс тут відсутній.

Ключові слова: верхня юра, мікрофації, тинтиніди, форамініфери, Переддобрудзький прогин.

Вступ. Верхньоярські відклади разом з крейдовими складають верхню частину розрізу Переддобрудзького прогину. Для юрського прогину характерна асиметрична будова: стрімке південне крило, що залягає на фундаменті орогену Північної Добруджі, та більш похиле північне, що залягає на древньому фундаменті Східно-європейської платформи. Простягання прогину у західній частині субширотне, у східній частині – південно-східне. На південному заході юрські та нижньокрейдові утворення перекриті насувом Нижньопрутського виступу Північної Добруджі [4, 11] з амплітудою горизонтального переміщення понад 10 км [2, 12].

Згідно з чинною стратиграфічною схемою [13], у їх складі виділено місцеві стратиграфічні підрозділи нижнього оксфорду, середнього оксфорду-нижнього кімериджу, верхнього кімериджу й титону (рис. 1).

Відклади нижнього-середнього оксфорду поширені у західному районі та локально у центральному й представлені вапняками та мергелями з прошарками аргілітів (верхня підсвіта болградської світи). Датовані за молюсками, містять також комплекс форамініфер середнього-верхнього оксфорду й транзитні види нанопланктону [13].

В обсязі середнього оксфорду-нижнього кімериджу визначено три світи, що заміщують одна одну по латералі. У західному та, частково, центральному районах поширені глини, алевроліти, пісковики, брекчії, у нижній частині з прошарками вапняків (алуатська світа). Вони датовані за амонітами середнього та верхнього оксфорду, нижнього кімериджу, охарактеризовані також бентосними форамініферами, двостулковими молюсками та спориво-пилковим комплексом оксфорд-кімеридзького віку, нанопланктоном. У центральному та

локально у східному районах вони заміщуються рифогенними вапняками з прошарками вапнистих глин (казаклійська світа), які містять амоніти, бентосні форамініфери, корали й брахіоподи середнього та верхнього оксфорду, оксфорду-кімериджу. У східному районі поширені біокластичні вапняки, на півночі – вапняки, алевроліти, пісковики (саратська світа). Порооди охарактеризовані бентосними форамініферами оксфорду-кімериджу, коралами середнього та верхнього оксфорду, брахіоподами верхнього оксфорду-нижнього кімериджу, двостулковими молюсками, остракодами, нанопланктоном.

Відклади верхнього кімериджу поширені на всій території прогину й представлені у нижній частині строкато забарвленими породами – глинами, алевролітами, пісковиками, конгломератами й вапняками, у верхній – гіпсами, ангідритами й галітами (конгазька світа). Порооди містять амоніти нижнього та верхнього кімериджу, двостулкові молюски кімериджу-титону, бентосні форамініфери оксфорду-кімериджу, кімеридзькі паліокомплекси та харові водорості.

Титонські утворення виділяються на більшій частині території прогину й складені строкато забарвленими теригенними породами – глинами, алевролітами, пісковиками, гравелітами, містять прошарки гіпсів та ангідритів (чадир-лунзька світа). Світа палеонтологічно охарактеризована лише у нижній частині, де містить молюски кімеридзького віку, умовно віднесена до титону за положенням у розрізі. Перекриваються ці відклади незгідно комратською світою нижньої крейди – строкатими теригенними породами, палеонтологічно не охарактеризованими, та готерив-баремськими нормально-морськими утвореннями [9].

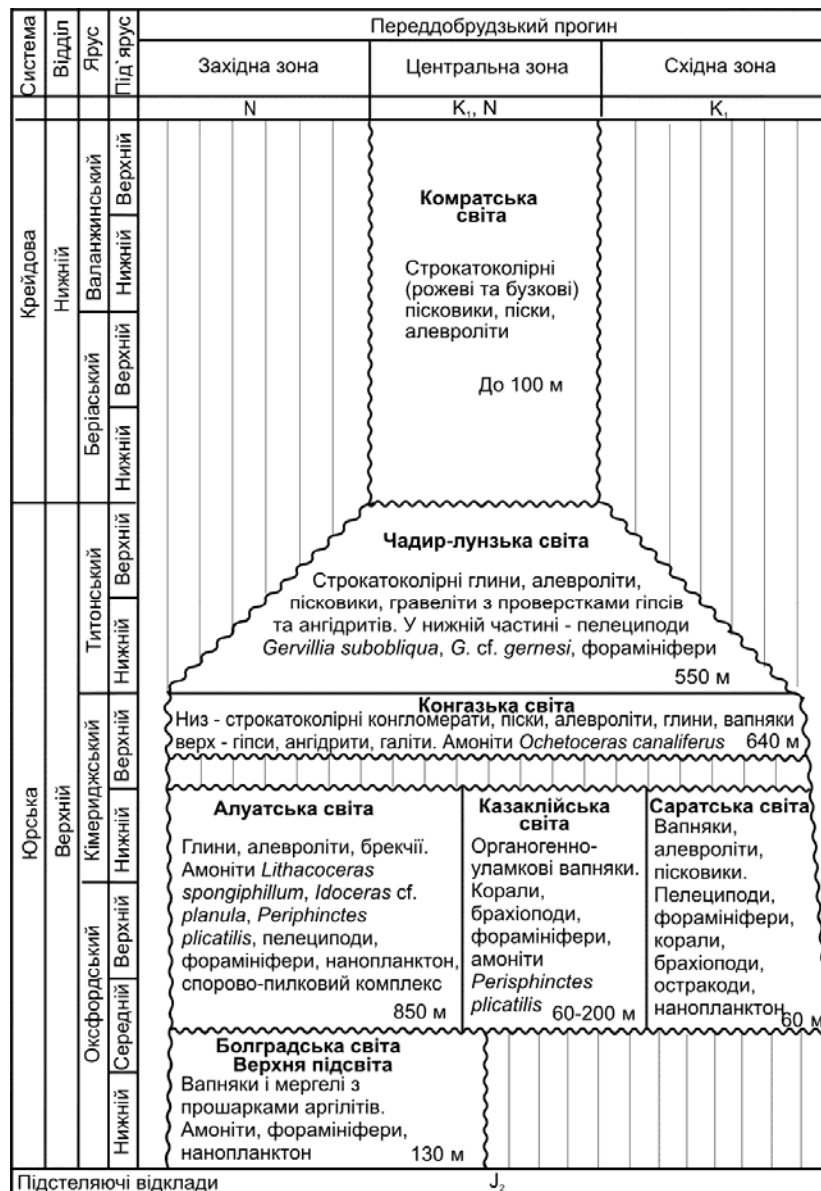


Рис. 1. Стратиграфічне розчленування відкладів верхньої юри та беріасу-валанжину Переддобрудзького прогину (за Д.М. П'яtkовою, Л.Ф. Плотніковою, О.А. Шевчук [13])

Постановка проблеми. Наведена згідно з чинною стратиграфічною схемою [13] характеристика відкладів дозволяє визначити, що відклади верхньої юри на території Переддобрудзького прогину представлені карбонатним комплексом, у складі якого присутні рифогенні фації середнього оксфорду-нижнього кімериджу, і теригенними лагунно-континентальними утвореннями верхнього кімериджу-титону. Палеонтологічно доведено середньо-пізньооксфордський вік порід рифогенних казаклійської та саратської світ та середньооксфордський-ранньокімеридзький вік алуатської світи. Конгазьку світу слід датувати в обсязі кімериджу за наявністю амонітів нижнього й верхнього кімериджу, а нижню частину чадир-лунзької світи, охарактеризовану кімеридзькою макрофауною, також слід відносити до кімериджу. Титонський вік теригенно-лагунних відкладів не обґрунтовано палеонтологічно, а перекриваються вони теригенними породами ймовірно ранньокрейдового віку, фауністично не охарактеризованими.

Стратиграфічне розчленування відкладів верхньої юри Переддобрудзького регіону на теперішній час недостатньо детальне та не завжди фауністично обґрунтоване внаслідок багатьох причин. Це пояснюється, у

першу чергу, фрагментарним відбором керн при бурінні свердловин, а також дуже нерівномірним розподілом органічних решток у відкладах, що зумовлено їх фаціальною належністю та часто незадовільною збереженістю навіть при значній кількості екземплярів. Дуже ускладнює стратифікацію відкладів сучасна структура Переддобрудзького прогину, який являє собою складнопобудований грабен, що розбитий на блоки [6] з вертикальною амплітудою зміщення до кількох сот метрів і навіть перших кілометрів [10].

Отже, існують суттєві проблеми у стратиграфії верхньої юри Переддобрудзького прогину. Проведене нами довивчення матеріалів буріння дозволило вперше виявити планктонну мікрофауну – тинтиніди у відкладах оксфорду й титону, здійснити мікрофаціальну характеристику порід, встановити наявність морських утворень титону та титону-беріасу. Це дало підстави для переінтерпретації віку, фаціального складу та умов формування відкладів верхньої юри Переддобрудзького прогину.

Матеріали та методи досліджень. Проведено комплексне дослідження матеріалів буріння відкладів верхньої юри на території Переддобрудзького прогину (площі Соляна, Озерна, Прохорівська, Городненська)

(рис. 2). Застосовано методи мікропалеонтологічного, мікрофаціального, седиментологічного аналізів. Проаналізовано та узагальнено дані Л.Ф. Романова, Б.С. Слюсаря, Г.В. Бойчук, В.Г. Дулуб, Р.Й. Лещуха, Б.М. Полуховича та інших дослідників.

Літолого-фаціальна та палеонтологічна характеристика верхньоярських відкладів Переддобрудзького прогину свідчить про те, що вони належать до рифогенного поясу північної периферії Тетису, який на території України простягається з північного заходу на південний схід через Карпатський, Західно-Причорноморський та Кримський регіони [15]. Впродовж пізньої юри вздовж північно-

го краю Тетису утворилась система помірно глибоких та неглибоких крайових та епіконтинентальних морів, у яких відбувалось переважно карбонатне осадконагромадження. Смуга рифобудування, особливо активного у оксфордський час, простягалась від Північного Кавказу через територію Румунії, Польщі, Німеччини, Швейцарії, схід Франції та Іспанії, південь Португалії до Техасу та Нью-Мексико [17]. Рифи цього поясу більшість дослідників поділяє на три основні типи – губково-мулові пагорби, характерні для заглибленої частини шельфу, коралово-строматопорові та мікробіальні споруди, а також їх різноманітні поєднання [16–18 та ін.].

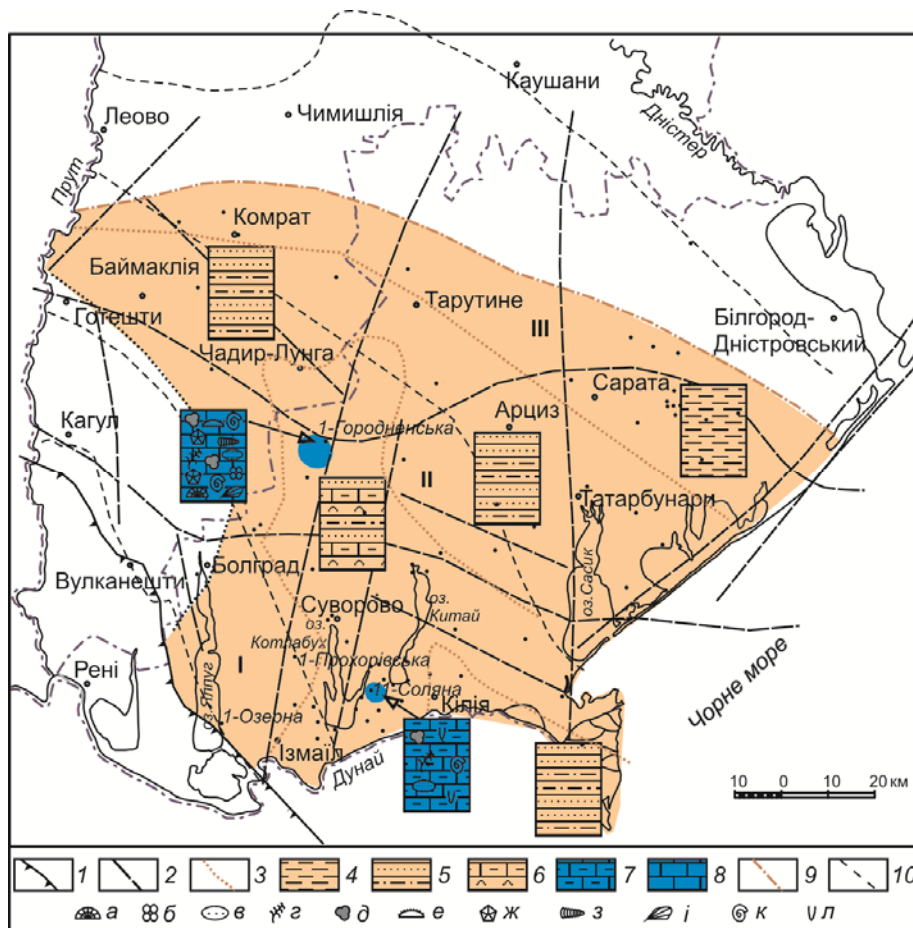


Рис. 2. Схематична літофаціальна карта відкладів титону Північно-Західного Причорномор'я:

Умовні позначення: 1 – Нижньопрутський виступ Північної Добруджі; 2 – регіональні розломи; 3 – границі літофацій; 4–8 – відклади: 4 – прибережні глинисті, 5 – піщано-алевритові, 6 – лагунні теригенно-сульфатно-карбонатні, 7 – відкрито-морські, 8 – мілководні біогермі; 9 – північна межа поширення відкладів; 10 – фаціальні райони [13]: I – Західний, II – Центральний, III – Східний. Органічні рештки: а – корали, б – моховатки, в – губки, г – зелені водорості, д – ціанеї, е – морські їжаки, ж – криноїдеї, з – молюски, і – брахіоподи, к – форамініфери, л – тинтиніди

Результати досліджень. Відклади рифової фації поширені вздовж північно-східного борту Переддобрудзького прогину й розкриті свердловинами на площах Готешти, Баймаклія, Чадир-Лунга, Старі Трояни, Прохорівська, Кілія, Соляна та інші. Пояс біогермів оксфордського кімериджу простягається дугою з північного заходу на південний схід і представлений у північній частині водоростево-моховатково-кораловими спорудами, які інтерпретуються як бар'єрний риф [7, 8], а у південній – переважно водоростево-мікробіальними біогермами. Для рифової фації характерна вертикальна зональність: у нижній частині – відносно глибоководні відклади мулових пагорбів із залишками губок, вище – рифові вапняки з каркасними рифобудівниками, різноманітними рифолітами та великою кількістю мікробіальних агрегатів (мікритин – за І. Nagy). У верхній частині присутні міл-

ководні онколітові вапняки [6] та часом строматоліти, які вказують на приповерхневі умови. Така зональність типова для рифів Північно-Тетичної провінції й зумовлена загальною регресивною тенденцією та поступовим обмілінням басейну протягом оксфорду.

На північний схід рифовий пояс оксфорду-нижнього кімериджу заміщується зарифовими мілководними біокласичними вапняками, далі на північ – вапняками, алевролітами, пісковиками, на півдні та сході прогину присутні вапняки з прошарками пісковиків, алевролітів, доломітів [13].

На південний захід рифовий пояс заміщують передрифові відклади, представлені теригенно-глинисто-карбонатними утвореннями – вапняками та мергелями з прошарками алевролітів, пісковиків та аргілітів. Серед вапняків виділяються пелітоморфні, глинисті, алевритисті, органогенно-пелітоморфні та оолітові різновиди [1].

У пелагічних (передрифових) відкладах західного району на площі Озерна нами визначено комплекси планктонної мікрофауни оксфордського віку – планктонні форамініфери *Globuligerina oxfordiana* (Grig.) та тинтиніди *Foliacella propartula* Makar., *F. orbiculata* Makar., *Scalpratella angustioris* Makar., *Rosiella tintinnubulum* Makar., *Borziella terekensis* Makar., *Borziella slovenica* (Borza), *Dobeniella cubensis* (Furr.-Berm.), *Almajella cristobalensis* (Furr.-Berm.), *Praetintinnopsella andrusovi* Borza, *Semichitinoidea sp.*, *Crassicollaria sp.* (св. Озерна-1, інт. 600-727 м) (табл. 1). У верхній частині цих відкладів виділено відклади верхнього оксфорду за бентосними форамініферами *Marssonella doneziana* Dain, *M. jurassica* Mitjan., *Haplophragmium coprolithiformis* Shwag., *H. aequalis* Roem., *Quinqueloculina frumenta* Azb. et Danitsch.

Пелагічні відклади нижнього оксфорду нами виявлено в центральному районі на площі Прохорівська у породах, що раніше датувались келовесом [5]. Тут визначено комплекс тинтинід оксфорду *Rosiella tintinnubulum*, *Scalpratella angustioris*, *Foliacella propartula*, *F. orbiculata*, *Dobeniella cubensis*, *Borziella terekensis*, *Praetintinnopsella sp.* (св. Прохорівська-1, інт. 1216–1374 м) (табл. 1). Вище, з глибини 1156 м, залягають рифові відклади оксфорду й кімериджу [5].

Передрифову фацію оксфорду-нижнього кімериджу розкрито бурінням також у придунайській частині прогину, між озерами Котлабух і Китай. Відклади верхньої юри тут представлені у нижній частині глинистими вапняками та мергелями, різною мірою алевритистими, що переходять у вапністі дрібнозернисті алевроліти; вище по розрізу вони заміщуються строкатими теригенно-глинистими відкладами та угорі – пачкою сульфатно-галогенних утворень. Лише свердловиною Соляна-3 розкрито рифову фацію [1].

У результаті наших досліджень, на площі Соляна виявлено, що у розрізі, розкритому свердловиною 11-с, присутні мілководні (імовірно, зарифові) відклади нижнього кімериджу (інт. 787,3-757,3 м), а також пелагічні відклади верхнього титону (інт. 728–730 м).

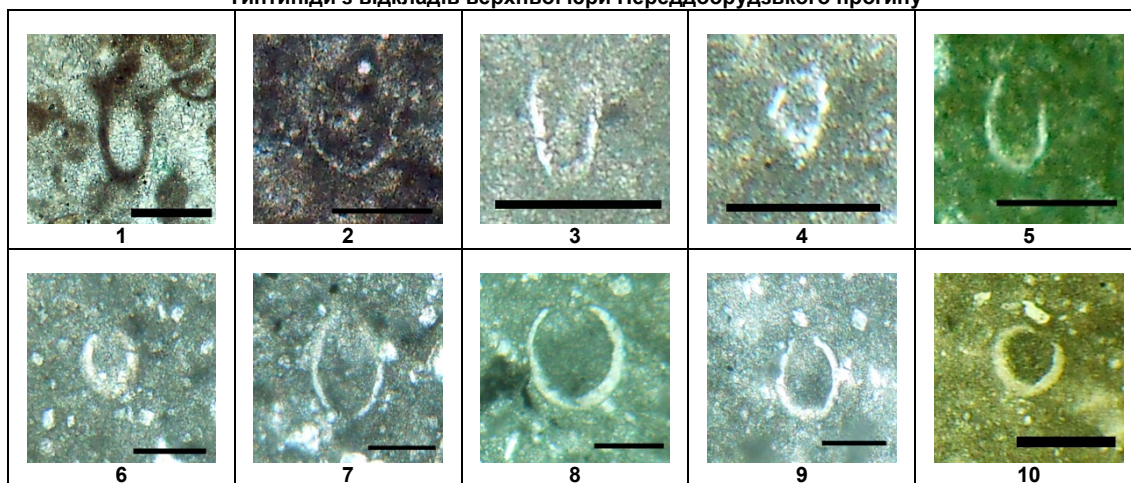
Відклади нижнього кімериджу тут представлені пелітоморфними дрібногрудкуватими вапняками – сильно алевритистими глинистими пелмікритами. Частка алевритового матеріалу збільшується догори й становить

10-40%. Зерна різного розміру (від дрібноалевритових до дрібнопіщаних) і ступеня обкатаності (від кутастих до обкатаних), часто кородовані, представлені переважно кварцом, зрідка польовими шпатами. Містять секретійні та аглютинуючі форамініфери, уламки серпулід, водоростей, моховаток, у верхній частині – харові водорості, вуглефікований рослинний детрит. Органічні рештки, особливо аглютинуючі форамініфери та харові водорості, мікрітизовані, гранульовані, деколи в оболонках ціаней. Загалом вигляд та склад органічних решток свідчить про несприятливі умови для їхнього існування (ускладнений доступ нормально-морських вод, коливання солоності, сильний вплив стоку із суходолу). Порода містить асоціацію форамініфер раннього кімериджу – *Quinqueloculina ex gr. frumenta*, *Nautiloculina oolithica* Mohl., *Pseudocyclammina lituus* (Yok.), *P. cf. ukrainica* Dain, *Streptocyclammina muluchensis* Hott., *Haplophragmium ex gr. coprolithiformis*, *H. ex gr. suprajurassicum* Schwag. – бентосні види, серед яких домінують мешканці мілководних застійних умов [3], імовірно, зарифової лагуни.

Відклади титону представлені також глинистими вапняками, проте їх мікрофаціальний та органічний склад суттєво змінюється. Це глинисті мікріти, що переходять у пелмікріти, подекуди однорідні, подекуди грудкуваті (біотурбовані), місцями неправильно-мікрошаруватої текстури, з піритизованими інтракластами. Алевритова домішка становить 5–7% і представлена дрібноалевритовим кварцом. З органічних решток присутні тинтиніди, крупні сильно мікрітизовані (часом до "тіней") форамініфери, поодинокі фрагменти молюсків та водоростей. Порода рівномірно доломітизована (дрібнокристалічний доломіт). Органічні рештки часто вилугувані, виповнені частково кристалічним кальцитом, частково вторинним гіпсом. Форамініфери представлені видами *Haurania amiji* Hens., *Pseudocyclammina cf. lituus*, тинтиніди – *Calpionella alpina* Lor., *C. grandalpina* Nagy, *C. elliptalpina* Nagy, *Tintinnopsella carpathica* (Murg. et Fil.) (табл. 1). Такий комплекс притаманний передрифовим відкладам верхнього титону, а мікрофаціальна характеристика порід свідчить про утворення в умовах відкритого неглибокого шельфу з нормальною солоністю й помірним гідродинамічним режимом.

Таблиця 1

Тинтиніди з відкладів верхньої юри Переддобрудзького прогину



1-5 – тинтиніди оксфорду: 1 – *Dobeniella cubensis*, 2 – *Scalpratella angustioris* (св. Озерна-1, інт. 600–607 м), 3 – *Foliacella propartula*, 4 – *Borziella terekensis*, (св. Озерна-1, інт. 650–657 м), 5 – *Foliacella cf. propartula* (св. Прохорівська-1, інт. 1366–1374 м); 6-10 – тинтиніди титону: 6 – *Calpionella alpina*, 7 – *Tintinnopsella carpathica*, 8 – *Calpionella grandalpina*, 9 – *C. elliptalpina*, 10 – *C. alpina* (св. Соляна-11, інт. 728–730 м). Масштабна лінійка = 0,1 мм

У центральній частині прогину на площі Городненська, де виділялись відклади оксфорду (інт. 1675-1418 м) і кімеридж-титону (інт. 1418-525 м) [5], нами виявлено мілководні рифогенні утворення в обсязі оксфорду-нижнього беріасу. За нашими даними, у цьому розрізі відклади верхньої юри розкрито на глибинах 1957-525 м. Відклади оксфорду (1949-1957 м) представлені перешаруванням вапняків та аргілітів. Вапняки біокластичні глинисті піскуваті з коралами, голкошкірими, водоростями, містять форамініфери середнього-верхнього оксфорду *Trocholina ukrainica* Kapr. та інші. Відклади кімериджу-титону визначаються в інтервалі 1949-1607 м і складені у нижній частині (1900-1049 м) пісковиками з прошарками вапняків, вище – біокластичними й онколітовими вапняками біогермного вигляду та доломітами. Вони містять форамініфери *Trocholina alpina* (Leup.), *Quinqueloculina podlubiensis* Terest., *Q. verbizhiensis* Dulub, *Orbignyoides podolicus* (Cushman et Glaz.) та ін. Вище, в інтервалі 1607-1464 м, фауністично обгрунтовані відклади титону. Тут у біокластичних вапняках з прошарками глини визначено комплекс форамініфер титону – *Pseudocyclammina lituus*, *Quinqueloculina podlubiensis*, *Bramcampella arabica* Redm., *Alveosepta powersi* Redm. та нижнього титону – *Conorboides marginata* Lloyd, *Astacolus cf. tumifactus* (Pjat.) (інт. 1496-1503 м). Вище відклади представлені біокластичними й мікритовими вапняками, глинами, алевролітами (за каротажем – товщею глини з пластами вапняків), які містять асоціацію форамініфер пізнього титону – раннього беріасу – *Bramcampella arabica*, *Everticyclammina eccentrica* Redm. та ін. (інт. 1418-1425 м). Усі комплекси форамініфер представлені бентосними формами, які тяжіють до рифових та наближених до них утворень [3]. Перекриваючі відклади керном не охарактеризовані, а за геофізичними показниками та кореляцією з сусідніми площами складені строкатими глинами з пластами пісковиків, алевролітів, доломітів, ангідритів, гіпсів, подекуди – вапняків (526-1418 м). Таким чином, зарифові відклади верхньої юри перекриваються теригенно-лагуною товщею, ймовірно, нижньої крейди.

Розкриті свердловиною Городненська-1 відклади верхньої юри за мікрофаціальним складом являють собою:

- біомікрити та інтрамікрити – вапняки мікритинові алевролітисті пористі, з інтракластами, дрібними пелетами, містять голки морських їжаків, форамініфери, гастроподи, рештки водоростей, глобохети, вуглефікований рослинний детрит;
- інтрабіоспарити – органогенно-уламкові вапняки з інтракластами, агрегатами ціаней, уламками молюсків, моховаток, голкошкірих, форамініферами;
- оопелспарити та біопелспарити, деколи сильно пористі, містять гранульовані черепашки форамініфер, регенеровані фрагменти голкошкірих, рештки вапнистих губок та дазікладацєвих водоростей;
- дрібні пелмікрити з детритом тонкостінних молюсків та вуглефікованим і піритизованим рослинним детритом;
- доломітизовані вапняки (мікрити, пелмікрити, біомікрити) з інтракластами, мікритинами та крупними аглютинуючими форамініферами;
- пелспарити з органогенним детритом, різною мірою доломітизовані;
- дрібнокристалічні доломіти з реліктами пелітомо-рфного вапняку;
- пористі візерунчасті біо- та ооспарити (грудкуваті мікритинові вапняки), перекристалізовані, з регенерованими фрагментами голкошкірих. Цемент часто вилугуваний, пори відкриті, що зумовлює візерунчастий вигляд породи. Характерна сильна доломітизація, деколи до повного заміщення, деколи селективна, що надає породи брекчієподібного вигляду.

По всій товщі серед органічних решток переважають мікробіальні агрегати різноманітної форми та розміру (мікритини). Присутні також численні фрагменти голкошкірих (членики кріноїдей та голки морських їжаків), форамініфери, гастроподи, уламки макрофауни, уривки водоростей, зокрема, дазікладацєвих, рештки вапнистих губок, глобохети, вуглефікований рослинний детрит. Форамініфери переважно гранульовані, уривки водоростей мікритизовані, рештки голкошкірих регенеровані кристалічним кальцитом, деколи зі слідами свердловинної ціаней. Породи часто пористі, деколи з візерунчастою текстурою, зумовленою вилугуванням по органічних рештках та перекристалізацією цементу. Перекристалізація з "крапковим зображенням", регенерація та мікритини є ознаками рифового походження порід. Присутня алевролітова домішка – у нижній частині незначна, дотори її вміст збільшується. Представлена кварцом, рідко польовими шпатами, лусочками біотиту, уламками гірських порід. Також присутній вуглефікований рослинний детрит, деколи пірит. Усі різновиди порід характерні для мілководних обстановок і можуть бути ідентифіковані як стандартні мікрофації СМФ-10, 11, 17 та 18 [за 14, 16]. Такий склад вказує на біогермні або наближені до них умови, де відкладаються уламки організмів та продукти їх життєдіяльності, знесені з органогенної споруди – рифу або банки. Схожий мікрофаціальний склад та комплекси органічних решток, з дещо меншою часткою мікробіальних агрегатів, характерні для відкладів дрібних зарифових біогермів титон-беріаського віку, поширених в Українському Передкарпатті (буківненська світа).

Отже, у відкладах верхньої юри Передбрудзького прогину присутні передрифова, рифова, зарифова фації оксфорду, зарифова та лагуна фації кімериджу, передрифова й зарифова фації титону (рис. 2). Рифові утворення верхнього кімериджу й титону у прогині на теперішній час невідомі.

Аналіз мікрофаціального та мікропалеонтологічного складу порід, а також вертикальна послідовність фацій, показують, що від оксфорду до пізнього титону умови седиментації порід змінювались під впливом евстатичних подій.

В оксфордський час на більшій частині території відбувалось нормально-морське, переважно карбонатне осадконагромадження. Про це свідчить нормальний розподіл фаціальних зон – передрифова, рифова, зарифова. Біогерми оксфорду формувались на брівці та схилі шельфу, а у більш заглибленій зоні відбувалось формування пелагічних порід з планктонною біотою.

У ранньому кімериджі відбулось значне зниження рівня моря, внаслідок чого у південно-західній частині прогину передрифові відклади верхнього оксфорду пере-криваються мілководними зарифовими відкладами нижнього кімериджу. У кімеридзький час на сході утворилась ізольована лагуна, де відкладались евапорити. Протягом титону ця лагуна поширювалась майже по всій території регіону і існувала до початку ранньої крейди.

У пізньотитонський час на седиментацію значно впливали глобальні трансресивні події, що спричинило відновлення морських умов у регіоні. Наслідком цього стало утворення на південному заході прогину відкрито-морських відкладів з планктонною біотою (ймовірно, передрифових), а в центральній зоні – біогермних або наближених до них утворень мілководної ділянки басейну. Такий розподіл фацій не виключає існування у регіоні в титонський час рифових споруд. Імовірно, вони мали обмежене поширення й були знищені у ході подальшої історії.

Слід відмітити, що одержані результати добре вкладаються у загальну регресивну послідовність верхньо-

юрського рифового поясу Центральної Європи [8, 14 та ін.], згідно з якою рифові відклади омолоджуються у південному напрямку. Це дає змогу припустити зміщення басейну седиментації і, відповідно, фаціальних поясів у південно-західному напрямку та присутність інших фацій кімериджу й титону, окрім лагунної, які на теперішній час, імовірно, перекриті насувними структурами Добруджі.

Подальші тектонічні події та значне зниження рівня моря спричинили ерозію рифогенного комплексу, внаслідок чого морські відклади кімериджу й титону виявлені локально у регіоні.

Висновки. У верхньоярських відкладах Переддобрудзького прогину вперше виявлено і досліджено планктонний комплекс тинтинід, встановлено наявність передрифових утворень верхнього титону та зарифових відкладів кімериджу й титону. Визначено фаціальний склад верхньоярського комплексу: в оксфорд – передрифова, рифова, зарифова фації, у кімериджі – зарифова та лагунна, у титоні – передрифова, зарифова і лагунна фації. Аналіз послідовності розрізів дозволив визначити умови формування верхньоярських відкладів Переддобрудзького прогину та їх зміни у часі. Протягом пізньої юри умови седиментації рифогенного комплексу, поширеного у Переддобрудзькому прогині, змінювались під впливом трансгресивно-регресивних подій. В оксфорд відклади формувались на неглибокому морському шельфі: на півдні – більш глибоководні пелагічні, на північному сході – мілководні зарифові. У ранньому кімериджі басейн значно обмілів, тому пелагічні відклади оксфорду були перекриті мілководними утвореннями, а на більшій частині території почала формуватись евапоритова лагуна. У титоні внаслідок глобальної трансгресії відновились морські умови на півдні та в центрі прогину, де відбувалось накопичення карбонатів, а на піднятії периферії басейну продовжувала існувати лагуна. Карбонатний комплекс верхньої юри у регіоні в подальшому був значно еродований, частково перекритий насувними структурами, тому цілісний рифогенний комплекс тут відсутній.

Список використаних джерел

- Бойчук Г. В. О верхнеюрских отложениях придунайской части Преддобруджского прогиба / Г. В. Бойчук, М. И. Бурова, В. Г. Дулуб, Р. И. Лещух, Б. М. Полухтович, Е. В. Туркевич // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1991. – № 77. – С. 1-11.
- Газизова С. А. К сравнительному анализу прогибов, обрамляющих Восточно-Европейскую платформу. Преддобруджский передовой прогиб / С. А. Газизова // Институт геологии Уфимского научного центра РАН. Геологический сборник. – 2009. – № 8. – С. 88-93.
- Жабина Н. М. Фораминиферы и тинтиниды как индикаторы умов формування відкладів верхньої юри Українського Передкарпаття / Н. М. Жабина // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2004. – № 3. – С. 91-102.
- Круглов С. Формационно-геодинамическая корреляция юры и раннего мела юго-западного обрамления евразийской литосферной плиты / С. Круглов // Геодинаміка. – 1999. – № 1(2). – С. 70-82.
- Лещух Р. Й. Юрські відклади півдня України / Р. Й. Лещух, В. В. Пермяков, Б. М. Полухтович. – Львів: Євросвіт, 1999. – 336 с.
- Мельниченко Т. А. Тектоника и структурный план Преддобрудзького прогину / Т. А. Мельниченко, Н. В. Шафранська // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – №3. – С. 76-84.
- Полухтович Б. М. Особенности строения верхнеюрских рифов Юга Украины / Б. М. Полухтович, Е. В. Самарская, А. Д. Самарский // Геология рифов и их нефтегазоносность: Тез. докл. Всесоюз. совещ. 16-18 апреля 1985 г. (г. Карши УзССР). – 1985. – С. 134-136.
- Полухтович Б. М. Верхнеюрские рифогенные постройки юго-запада СССР / Б. М. Полухтович, А. Д. Самарский, В. И. Хныкин // Геология советских Карпат (Доклады советских геологов на XII конгрессе КБГА). – 1984. – К: Наук. думка. – С. 156-163.
- Романов Л. Ф. Мезозойские пестроцветы Днестровско-Прутского междуречья. / Л. Ф. Романов. – Кишинев: Штиинца, 1976. – 208 с.
- Романов Л. Ф. Проблемы нефтегазоносности Днестровско-Прутского междуречья / Л. Ф. Романов // Геоэкологические и нгг. ические проблемы Северного Причерноморья: Матер. IV Междунар. Научно-практ. Конференции. – Тирасполь, 2012. – С. 251-254.
- Слюсарь Б. С. Юрские отложения северо-западного Причерноморья / Б. С. Слюсарь. – Кишинев: Штиинца, 1971. – 246 с.
- Слюсарь Б.С. Структуры горизонтального сжатия в северном Преддобруджье / Б. С. Слюсарь // Геотектоника. – 1984. – № 4. – С. 90-105.
- Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у двох томах. Т.1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Відп. редактор П. Ф. Гожик. – К.: Логос, 2014. – 636 с.
- Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории / Дж. Л. Уилсон [пер. С. нгл. А. С. Арсанова, Н. П. Григорьева, Б. В. Ермакова]. – М.: Недра, 1980. – 463 с.
- Anikeyeva O. Ukrainian part of the Upper Jurassic reef belt of Europe and correlation with adjacent regions / O. Anikeyeva, N. Zhabina // Buletini i Shkencave Gjeologjike. – Special Issue. Proceedings of XX CBGA Congress, Tirana, Albania, 24-26 September 2014. – 2014. – No 1. – P. 191-194.
- Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. / Erik Flügel. Second Edition. – 2010. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 984 p.
- Leifelder R. R. Jurassic Reef Ecosystems / R. R. Leifelder // Stanley, G D., Jr. (ed.). The History and Sedimentology of Ancient Reef Systems. – New York: Kluwer Academic/Plenum publishers, 2001. – P. 251-309.
- Leifelder R. R. Jurassic reef patterns – the expression of a changing globe. / R. R. Leifelder, D. U. Schmid, M. Nose, W. Werner // Phanerozoic Reef Patterns – SEPM Special Publication, 2002. – No. 72. – P. 465-520.
- Nagy I. The Micritinas. A hypothetical rock-forming microfossil group in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous formations of the Mecsek and Villany Belt / I. Nagy // Magyar Allami Foldtani Intezet evi jelentese. – 1988. – № 2. – С. 87-113.

References

- Boychuk G.V., Burova M.I., Dulub V.G., Leshukh R.J., Polukhtovich B.M. et al. (1991). On the Upper Jurassic deposits of the Danubian part of Predobrogea Deep. *Geology and geochemistry of fuels*, 77, 1-11. [in Russian].
- Gazizova S.A. (2009). By comparative analysis of deflections framing the East European platform. Pre-Dobrogea Foredeep. *Institute of Geology, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences. Geological collection*, 8, 88-93. [in Russian].
- Zhabina N.M. (2004). Foraminiferas and tinninids as the indicators of sedimentary conditions of Upper Jurassic deposits in Ukrainian Precarpathians. *Geology and geochemistry of fuels*, 3, 91-102. [in Ukrainian].
- Kruhlov S. (1999). Formational-geodynamic correlation of the Jurassic and the Upper Cretaceous within the South-Western framing of the Eurasian lithospheric plate. *Geodynamics*, 1(2), 70-82. [in Russian].
- Leshukh R.J., Permyakov V.V., Polukhtovich B.M. (1999). *Jurassic deposits of the South of Ukraine*. Lviv: Eurosvit, 336. [in Ukrainian].
- Melnichenko T.A., Shafranska N.V. (2010). Tectonics and structural plan of the Dobrogea foredeep. *Geology and mineral resources of the World Ocean*, 3, 76-84. [in Ukrainian].
- Polukhtovich B.M., Samarska E.V., Samarsky A.D. (1985). The features of construction of Upper Jurassic reefs in South of Ukraine. *Geology of reefs and their oil and gas potential: Abstracts of Vsesoyuzny meeting, Karshi, UzbekSSR, 16-18 April 1985*. (pp. 134-136). [in Russian].
- Polukhtovich B.M., Samarsky A.D., Khnykin V.I. (1984). Upper Jurassic reef constructions in Southwest of USSR. *Geology of Soviet Carpathians: Reports of Soviet geologists in XII Congress CBGA*. (pp. 156-163). Kyiv: Nauk. dumka. [in Russian].
- Romanov L.F. (1976). *Mesozoic mottled rocks of Dniester-Prut interfluvial territory*. Kishinev: Shtiintsa. [in Russian].
- Romanov L.F. (2012). Problems of oil and gas potential of territory between the rivers Dniester and Prut. *Geoeological and biological problems of the Northern Black Sea coast: Proceedings of the IV International scientific and practical conference*. (pp. 251-254). Tiraspol. [in Russian].
- Slusar B.S. (1971). *Jurassic deposits of Northern Black Sea Coast*. Kishinev: Shtiintsa. [in Russian].
- Slusar B.S. (1984). The structures of horizontal compression in the Northern Predobrogea. *Geotectonics*, 4, 90-105. [in Russian].
- Gozhyk P.F. (Ed.). (2014). *Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine: in 2 volumes*. (Vol. 1. Stratigraphy of Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine). K.: Logos. [in Ukrainian].
- Wilson, J.L. (1975). *Carbonate facies in geologic history*. Berlin (Springer). [in Russian].
- Anikeyeva O., Zhabina N. (2014). Ukrainian part of the Upper Jurassic reef belt of Europe and correlation with adjacent regions. *Buletini i Shkencave Gjeologjike – Special Issue. Proceedings of XX CBGA Congress, Tirana, Albania, 24-26 Sept., 2014*, 1, 191-194.
- Flügel E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 984 p.
- Leifelder R. R. (2001). *Jurassic Reef Ecosystems*. In: Stanley, G D., Jr. (ed.) *The History and Sedimentology of Ancient Reef Systems*. (pp. 251-309). Kluwer Academic/Plenum publishers, New York.
- Leifelder R.R., Schmid D.U., Nose M., Werner W. (2002). Jurassic reef patterns – the expression of a changing globe. In *Phanerozoic Reef Patterns*. SEPM Special Publication, 72, 465-520.
- Nagy I. (1988). The Micritinas. A hypothetical rock-forming microfossil group in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous formations of the Mecsek and Villany Belt. *Magyar Allami Foldtani Intezet evi jelentese*, 2, 87-113.

Надійшла до редколегії 11.09.15

N. Zhabina, Dr. Sci. (Geol.)
Institute of Geological Sciences
National Academy of Sciences of Ukraine
55-b Oles Honchar Str., Kyiv, 01022, Ukraine
E-mail: zhabinanatalia@gmail.com,
O. Anikeeva, Cand. Sci. (Geol.)
Institute of Geology
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: geolena@ukr.net,
O. Samarska, Cand. Sci. (Geol.-Min.)
Lviv Branch of Ukrainian State Research Institute
Lviv, Ukraine
E-mail: elena.samarska@gmail.com

NEW DATA ON THE CONDITIONS OF SEDIMENTATION OF UPPER JURASSIC CARBONATE COMPLEX IN THE TERRITORY OF PREDOBROGEAN FOREDEEP

The results of complex micropaleontological and microfacial studying of Upper Jurassic sediments of Predobrogean regions of Ukraine are produced. According to nowadays stratigraphy scheme, in the Predobrogean foredeep the Upper Jurassic is represented by carbonate complex in which there are reefogenic facies of Middle Oxfordian–Lower Kimmeridgian, and terrigenous lagoonal-continental formations of Upper Kimmeridgian–Tithonian. The investigations allowed to reveal planktonic microfauna – tintinnids in the Oxfordian and Tithonian, to make characteristic of microfacial composition of the rocks. The result are the determination of presence of pelagic possibly fore-reef sediments of the Upper Tithonian and back-reef formations of Kimmeridgian, Tithonian and Tithonian–Berriassian. This gave the base for the new interpretation of age, facies and conditions of forming Upper Jurassic sediments of the Predobrogean foredeep. The following facies were determined in the Upper Jurassic complex: fore-reef, reef and back-reef in the Oxfordian, back-reef and lagoonal in the Kimmeridgian, fore-reef, back-reef and lagoonal in the Tithonian. Analysis of the vertical sequences in the sections studied allowed to clear the conditions of forming the Upper Jurassic sediments of Predobrogean foredeep and their alternations in time because of transgressive-regressive processes. In Oxfordian the sediments were formed on the rather shallow shelf: in the south – a deeper-water pelagic, in the northeast – shallow-water back-reef, and reef zone as arc stretched from northwest to southeast. Long regressive background caused the vertical zonation of the Oxfordian reefs in the region. Pelagic sediments of Oxfordian were overlapped by shallow-water formations and evaporitic lagoon began forming on the most territory. As a result of global transgression in Tithonian the sea spreaded in the south and center of the foredeep. The lagoon continued to exist on the raised periphery of the basin. Upper Jurassic carbonate complex was considerably eroded afterwards and was partly overlapped by nappe structures. This completed reefogenic complex which is absent here.

Keywords: Upper Jurassic, microfacies, foraminifers, tintinnids, Predobrogean foredeep.

Н. Жабина, д-р геол. наук
Институт геологических наук НАН Украины
ул. Олесь Гончара, 55-б, г. Киев, 01022, Украина
E-mail: zhabinanatalia@gmail.com
Е. Аникеева, канд. геол. наук
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: geolena@ukr.net
Е. Самарская, канд. геол.-мин. наук
Львовское отделение УкрГГРИ, Львов, Украина
E-mail: elena.samarska@gmail.com

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ СЕДИМЕНТАЦИИ КАРБОНАТНОГО КОМПЛЕКСА ВЕРХНЕЙ ЮРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРЕДДОБРУДЖСКОГО ПРОГИБА

Представлены результаты комплексного микропалеонтологического и микрофациального изучения верхнеюрских отложений Преддобруджского региона Украины. Согласно стратиграфической схеме, принятой в настоящее время, отложения верхней юры на территории Преддобруджского прогиба представлены карбонатным комплексом, в составе которого присутствуют рифогенные фации среднего оксфорда–нижнего кимериджа и терригенными лагунно-континентальными образованиями верхнего кимериджа–титона. Проведенные исследования позволили впервые выявить в этих отложениях планктонную микрофауну – тинтиниды в образованиях оксфорда и титона, охарактеризовать микрофациальный состав пород, на этой основе установить присутствие пелагических, вероятно предрифовых отложений верхнего титона и зарифовых образований кимериджа, титона и титона–берриаса. Это дало основания для переинтерпретации возраста, фациального состава и условий формирования верхнеюрских отложений Преддобруджского прогиба. Определен фациальный состав верхнеюрского комплекса: в оксфорде – передрифовая, рифовая, зарифовая фации, в кимеридже – зарифовая и лагунная, в титоне – передрифовая, зарифовая и лагунная фации. Анализ вертикальной последовательности пород в изученных разрезах позволил выяснить условия формирования верхнеюрских отложений Преддобруджского прогиба и их изменения во времени под влиянием трансгрессивно-регрессивных процессов. В оксфорде отложения формировались на неглубоком морском шельфе: на юге – более глубоководные пелагические, на северо-востоке – мелководные зарифовые, а рифовая зона протянулась дугой с северо-запада на юго-восток. Длительный регрессивный фон обусловил вертикальную зональность рифовых сооружений оксфорда в регионе. У результате значительного обмеления бассейна в раннем кимеридже пелагические отложения оксфорда были перекрыты мелководными образованиями, а на большей части территории начала формироваться эвапоритовая лагуна. В титоне вследствие глобальной трансгрессии возобновились морские условия на юге и в центре прогиба, где происходило накопление карбонатов, а на поднятой периферии бассейна продолжала существовать лагуна. Карбонатный комплекс верхней юры в регионе в дальнейшем был значительно эродирован, частично перекрыт надвиговыми структурами, поэтому полный рифогенный комплекс тут отсутствует.

Ключевые слова: верхняя юра, микрофации, тинтиниды, фораминиферы, Преддобруджский прогиб.

УДК 551.72(477.8)

В. Гриценко, канд. геол.-мінералог. наук, доц., ст. наук. співроб.
Національний науково-природничий музей НАН України
вул. Б. Хмельницького, 15, м. Київ, 01601, Україна

В. Палій, канд. геол.-мінералог. наук
Інститут геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01022, Україна
E-mail: favosites@ukr.net

К. Деревська, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.

К. Руденко, канд. геол. наук
Національний науково-природничий музей НАН України
вул. Б. Хмельницького, 15, м. Київ, 01601, Україна

УНІКАЛЬНІ КОЛЕКЦІЇ ВЕНДОБІОНТІВ ГЕОЛОГІЧНОГО МУЗЕЮ НАЦІОНАЛЬНОГО НАУКОВО-ПРИРОДНИЧОГО МУЗЕЮ (ННПМ) НАН УКРАЇНИ

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

Дослідження вендських розрізів Поділля приносять нові здобутки та відкриття. В музеях та приватних зібраннях зберігаються колекції вендобіонтів, які вивчалися багатьма дослідниками. Практична значимість цих досліджень полягає в можливості проведення палеонтологічного обґрунтування стратиграфічних схем та отриманні вагомих підстав для кореляції відкладів. В результаті багаторічних експедицій зібрані літологічні, мінералогічні та палеонтологічні колекції з відкладів венду Придністров'я. Зокрема, багатий матеріал отримано нами за неодноразових відряджень до району Новодністровська для вивчення і моніторингу розрізів могилівської та яришівської світ, що відкриті у Бернашівському кар'єрі. Тут були знайдені як раніше відомі, так і нові роди і види вендських викопних організмів. Тривала розробка окремих рівнів дозволила простежувати фаціально-літологічні особливості верств та зміни горизонтів, що містять знахідки вендобіонтів. Присутність різноманітних циклічних та двобічносиметричних решток викопних тварин і слідів їхньої життєдіяльності дозволяють корелювати вендські відклади Поділля й узбережжя Білого моря з відкладами едіакарського періоду пізнього протерозою Австралії та інших континентів. Величезне міжнародне значення розрізу, його палеонтологічна, геологічна й мінералогічна різноманітність, дають підстави для створення нового природоохоронного об'єкту на основі кар'єру. Для збереження геологічних розрізів венду в Придністров'ї пропонується надавати їм (починаючи з Бернашівського кар'єру) крок за кроком природоохоронного статусу геологічних пам'яток природи, з можливістю подальшого вивчення унікальних решток вендобіонтів.

Ключові слова: венд, палеонтологічні колекції, геологічні пам'ятки, Бернашівський кар'єр, Поділля.

Стан проблеми. В межах Дністровського каньйону в природних відслоненнях та кар'єрах відкриті відклади верхнього венду, які містять унікальні викопні рештки. Зокрема, багатий матеріал отриманий нами за неодноразових відряджень до району м. Новодністровськ для вивчення й моніторингу розрізів могилівської та яришівської світ, що відкриті в Бернашівському кар'єрі. Тут були знайдені нові роди і види вендських викопних організмів. Тривала розробка окремих рівнів дозволила простежувати фаціально-літологічні особливості верств та зміни горизонтів, що містять знахідки вендобіонтів. Присутність різноманітних циклічних та двобічносиметричних решток викопних тварин й слідів їх життєдіяльності дозволяє корелювати вендські відклади Поділля й узбережжя Білого моря з відкладами едіакарського періоду пізнього протерозою Австралії та інших континентів.

Частою особливістю порід, що містять відбитки та сліди у відкладах могилівської та інших світ верхнього венду, є здатність вивітрюватися, що призводить до їх руйнування. Саме тому одним із головних завдань геологів та палеонтологів, які вивчають вендську біоту, є збереження унікальних знахідок у музейних фондах та експозиціях. Розріз відкладів венду та викопні рештки в ньому потребують охорони *in situ*. Формою охорони стратотипового розрізу пропонується створення геологічної пам'ятки-парку. Для збереження геологічних розрізів венду в Придністров'ї (починаючи з Бернашівського кар'єру) пропонується надавати їм крок за кроком природоохоронного статусу геологічних пам'яток природи, з можливістю подальшого вивчення унікальних решток вендобіонтів. Необхідність збереження вендського розрізу для науковців та нащадків не викликає жодних сумнівів. Цю думку неодноразово висловлювали дослідники (Ю. Зінко, С. Фінко та ін.) [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Едіакарську систему верхнього протерозою було виокремлено на основі розрізів на півдні Австралії. Поштовхом до її виділення стали знахідки відбитків своєрідних організмів у пісковиках Паунд в кар'єрі Едіакара.

На заході Східноєвропейської платформи (СЄП) в докембрійських відкладах було знайдено відбитки та сліди давніх організмів, а осадові товщі, що їх містили, отримали назву вендських [3 та ін.]. О. Каптаренко припустила органічну природу дископодібних відбитків, які поширені у давніх теригенних відкладах Поділля (в той час вони ще вважались силурійськими). З використанням результатів досліджень В. Заїка-Новачького та представників його наукової школи (О. Асєєва, В. Великанов, Ю. Гурєєв, В. Іванченко, Л. Константинов, В. Палій та ін.), було розроблено детальну та палеонтологічно обґрунтовану регіональну стратиграфічну схему венду Поділля та всього західного схилу Українського щита. Колекції кам'яного матеріалу, які обґрунтовують висновки дослідників, зберігаються в музеях.

Колекції вендобіонтів Геологічного музею Національного науково-природничого музею (ННПМ) НАН України представляють біологічне різноманіття вендської фауни та флори України й характеризують еволюцію біосфери у венді Поділля, який зіставляють з едіакарським періодом Австралії (та інших континентів). Подібна колекція зберігається у Геологічному музеї Київського національного університету імені Тараса Шевченка, є зразки вендських фосилів в музеї Львівського національного університету імені Івана Франка, велике зібрання (М. Федонкіна та А. Іванцова) зберігається у спеціальному сховищі Палеонтологічного інституту РАН, чимало зразків осіло у приватних колекціях [4-7].

На початку ХХІ ст. у зв'язку з відновленням робіт з геологічного картування України, вивчення відкладів венду знову стало актуальним. За останні п'ять років співробітники Геологічного музею ННПМ НАН України разом з фахівцями Інституту геологічних наук НАН України здійснили низку польових експедицій, до яких долучились іноземні спеціалісти (виконання проекту за сприяння Державного фонду фундаментальних досліджень України та музейної тематики). Наукові роботи

здійснювалось за участі авторів представленої статті із залученням в різні роки В.Я. Великанова, Л.І. Константиценка, А.Ш. Мєнасової, О.М. Пилипчук, С.Б. Шехунової та інших фахівців. Особливо плідними виявилися пошуки відбитків організмів та їхнофосилій венду в районах Бакотського печерного монастиря, в Бернашівському кар'єрі (нижче Дністровської ГЕС) та поблизу м. Могилів-Подільський (урочище Борщів Яр). У результаті міжнародного проекту за нашою участю видано Атлас вендобіонтів, які зберігаються в музеях України та Росії [5].

У фондах Геологічного музею ННПМ НАН України наявні колекції вендобіонтів та порід, які їх містять, що надходили до зібрань, починаючи з 1958 р. Серед них 8 монографічних колекцій (О.О. Асєєва – № 1915; Ю.О. Гурєєв – № 2088, 2089, 2127; А.А. Іщенко –

№ 2235, 2501; В.М. Палій – № 1831, 1907) та наукові колекції (В.Я. Великанов – № 1970; В.П. Гриценко – № 2421, 2480, 2485, 2486, 2489, 2514, 2525; К.І. Деревська, В.П. Гриценко – № 2558; В.В. Кир'янов – № 1688; О.Р. Конопліна – № 1764; Л.І. Константиненко – № 1852; О.В. Крашенинникова – № 1579, 1811; П.Л. Шульга, Л.Г. Ткачук – № 1766). Найцікавіші зразки нових надходжень вендобіонтів (інв. номери колекції 2514, 2525, у кількості 64 зразка) виставлені в залі "Історія геологічного розвитку території України".

Графік динаміки надходження колекцій до Геологічного музею свідчить про поживлення наукової роботи в цьому напрямку починаючи з 2008 р. (рис. 1). Це, в першу чергу, пов'язано з відкачкою води з кар'єру та збільшенням його обсягів і глибини у зв'язку з поновленням роботи зі спорудження Дністровської ГАЕС.

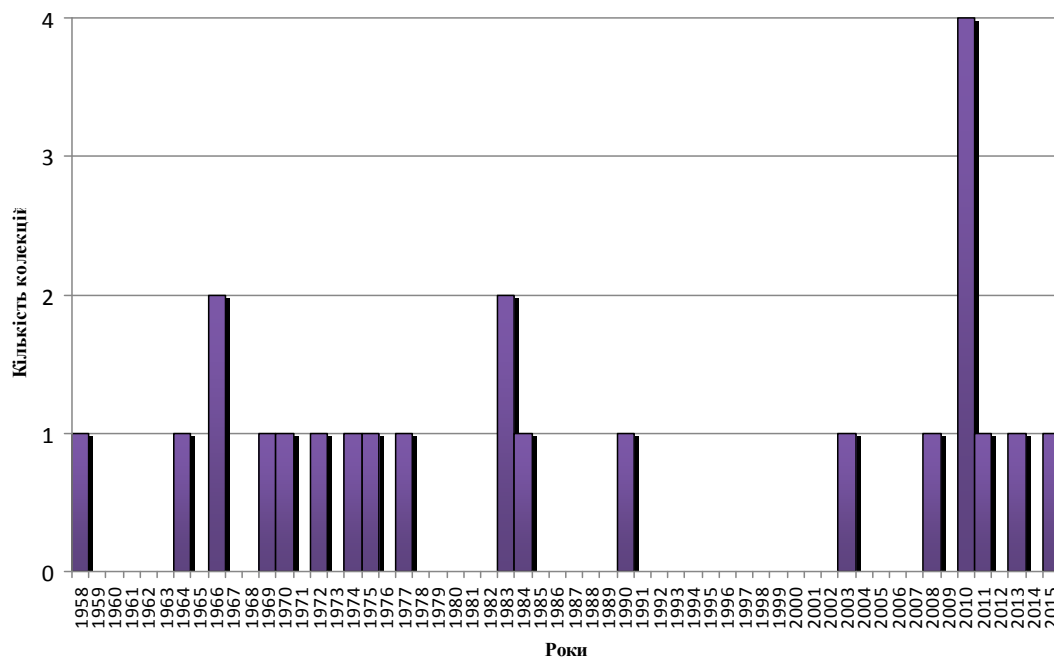


Рис. 1. Динаміка надходжень колекцій вендобіонтів та порід до музею за період 1958-2015 рр.

У Бернашівському кар'єрі (Дністровської ГЕС/ГАЕС) протягом останніх років, в тому числі у 2015 р., було знайдено рідкісні зразки двобічносиметричних форм вендобіонтів (А. Мартишиним і Д. Пилипенком). Тафonomію нової знахідки *Podolimirus mirus* Fedonkin описано відомим польським дослідником Іржі Дзиком у спів-авторстві з А. Мартишиним [7]. Ці автори без пояснень відступили від прийнятого і затвердженого в Україні стратиграфічного поділу – лядівські верстви могилівської світи віднесли до яришівської світи, а гравеліт позначили як конгломерат [7, фіг. 1, В, С].

Виділення не вирішених частин проблеми. Основним способом збереження відбитків зразків вендобіонтів є їх збір, консервація та зберігання в музейних колекціях. Систематичне поповнення та відповідна обробка колекцій повинні здійснюватись фахівцями за сприяння місцевих керівників та дирекції музеїв. Важливим аспектом є збереження унікальних знахідок та обмін зразками з іншими музеями світу. До цього треба додати ще завдання охорони і збереження унікальних відслонень *in situ*, які є об'єктами наукової геологічної спадщини. Проте за відсутності законодавчої бази залишається не з'ясованим механізм охорони та утримання геологічних розрізів венду Поділля.

Створення геологічної пам'ятки-парку на основі розрізів венду в районі с. Бернашівка може бути одним із суттєвих кроків з вирішення поставленої проблеми.

Виклад основного матеріалу. Кар'єр розташований на лівому березі Дністра нижче греблі Дністровської ГЕС біля с. Бернашівка. Він існує вже більше 30 років і час від часу поновлює свою роботу. У північній частині, відділеній перемичкою від основного котловану, виникла водойма, а схили кар'єру рекультивовані. У південній, втричі більшій за обсягами, частині кар'єру в останні роки поглиблено забій, а його площу значно розширено у зв'язку з видобутком матеріалу для спорудження ГАЕС та відсіпки берегів рр. Дністра та Жвану. Його довжина досягла 800-900 м, ширина – 300 м, глибина – понад 60 м.

У забої кар'єру розкрито рожево-сірі та сірі палеопротерозойські граніти, вік яких близько 2050 млн. р. Граніти утворюють локальний виступ поверхні фундаменту заввишки до 40 м над прилеглими ділянками довендського рельєфу. За тріщинами гранатових гранітів з ксенолітами кристалічних гнейсів зафіксовано флюоритову та флюорит-карбонат-сульфідну мінералізацію. Граніти перекриваються відкладами могилів-подільської серії венду.

Могилів-подільська серія, за затвердженням стратиграфічним поділом [2], об'єднує світи (складені верствами): могилівську (ольчедаївські, ломозівські, ямпільські, лядівські); яришівську (бернашівські, бронницькі, зінківські); та нагорянську (джуржівські, калюські).

В центральній частині Бернашівського підняття (виступу) на гранітах залягають ямпільські верстви, представлені темно-сірими пісковиками, тонкоплитчастими у нижній та верхній частинах розрізу, і масивними ясно-сірими пісковиками у середній частині послідовності (рис. 2). Ямпільські верстви мають тут різну товщину. На схилах виступу вона збільшується, а біля підніжжя набуває максимальної потужності [2]. В.Я. Великанов визначив такий характер залягання як складку обтікання (амплітудою до 15 м). На нашу думку, це типовий приклад трансгресивного залягання відкладів на мілководді (на гранітах в базальних шарах наявні гальки та валуни). У пониженнях ділянках давнього рельєфу між ямпільськими пісковиками (верствами) та гранітами вклинюються ольчедаївські верстви – рожево-сірі переважно крупнозерністі пісковики – та ломозівські вер-

ви – темно-сірі алевро-аргіліти с прошарками пісковиків. В кар'єрі ольчедаївські верстви не відслонені. На ломозівських верствах – сіро-сірих та темно-сірих алевро-аргілітах, сірих пісковиках та гравелітах – у більшій частині кар'єру залягають ямпільські верстви. В кар'єрі їх потужність у склепінні підняття становить 3-4 м, а на схилах до 12-14 м. У нижній, середній та верхній частинах ямпільських верств спостерігаються, іноді у вигляді суцільних поселень, колонії *Nemiana simplex* Palij (неміани), які особливо часто зустрічаються у верхній частині розрізу – в пачці плитчастих пісковиків, які представлені масивними, різнозернистими та шаруватими з глинистими проверстками різновидами. В масивних окварцованих пісковиках на поверхнях нашарування також можна побачити великі поселення неміан.

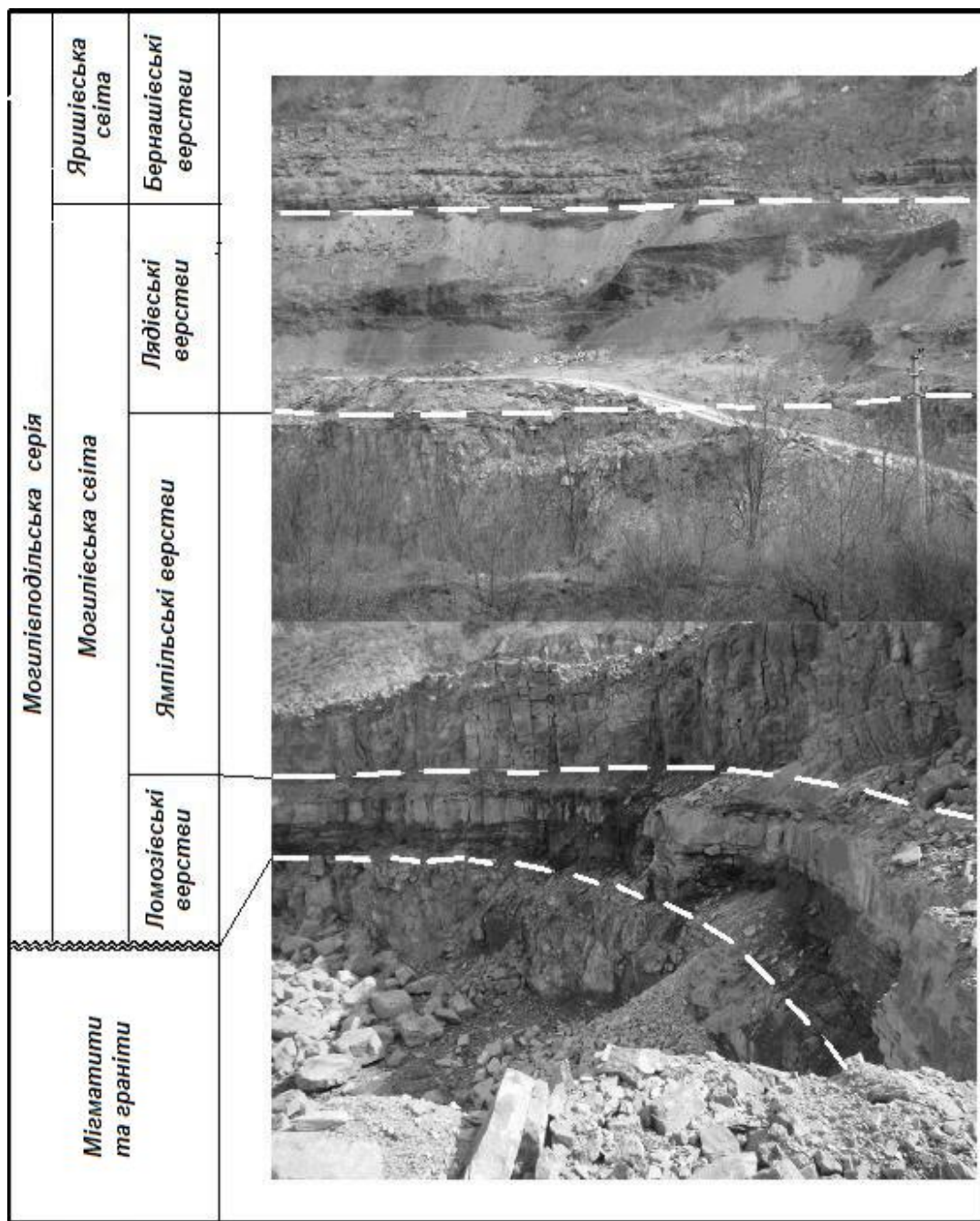
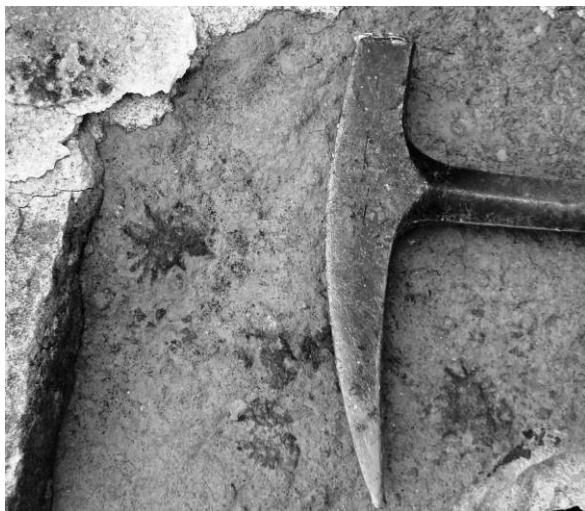


Рис. 2. Стратиграфічний поділ відкладів у Бернашівському кар'єрі: штрихові лінії позначають межі верств. В забої – брили та уламки порід, що утворилися після вибухів

На ямпільських верствах залягають строкаті (бури та зелені) аргіліти лядівських верст, в яких О.О. Асєєва визначила комплекс акритархів. Нами тут знайдено характерний прошарок бентонітової глини та стяжіння піриту. Доцільно підкреслити наявність поступових переходів між всіма чотирма верствами могилівської світи та між світами серії. У глинисто-піщаних шарах могилів-подільської серії знайдено комплекс різноманітних безскелетних *Metazoa* та біогліфів, для якого характерно

багато форм, спільних з едіакарською, біломорською та ньюфаундлендською палеобіотами. У розрізі венду Поділля найдавнішим і найбагатшим за видовою різноманітністю стратиграфічним рівнем розвитку фауни *Metazoa* на західному схилі СЄП є лозозівські верстви (рис. 3-5).

Фрагменти розрізу лозозівських шарів частково відкриті в північно-східній стінці кар'єру та в уступі його південно-західної частини (див. рис. 2).



А



Б

Рис. 3 Пісковики Бернашівського кар'єру:

А – грубозернисті – середня частина ямпільських верств з імовірними "щупальцями поліпів";
Б – різнозернисті з прошарком бентонітової глини в нижній частині бернашівських верств та пачкою зеленкувато-сірих вивітрілих аргілітів у верхній частині розрізу Бернашівського кар'єру

Ямпільські верстви містять рештки, серед яких переважають щільні угруповання (колонії) дископодібних відбитків безскелетної фауни, головним чином, *Nemiana simplex* Palij. Автор першого опису О.К. Каптаренко вважала їх медузами, які залишили відбитки на м'яких мулистих ґрунтах. Існували різноманітні припущення щодо їх природи: відбитки крапель дощу, ямки "пуголовків", псамокорали тощо. Ми розглядаємо їх як примітивні поліпи, які вірогідно, ще не набули щупальців. З'явилася і кардинально нове тлумачення їх природи – деформовані кулясті колонії водоростей, в які інкорпорований піщаний матеріал [5]. Проти останньої гіпотези свідчать знахідки відбитків неміан на шарах з слідами хвилеприбійних знаків та/або течій.

У верхній частині верств, яка представлена плитчастими і тонкоплитчастими пісковиками з глинистими прошарками, Д. Пилипенко знайшов відбиток чарнії (*Charnia* sp.), щоправда тонкі деталі її будови на зразку не розрізняються (див. рис. 4 Б).

У східній стінці кар'єру виходять на денну поверхню лядівські верстви – строкаті піщанисті тонкошаруваті алевроліти та аргіліти, потужністю до 7 м, які залягають на ямпільських відкладах (див. рис. 2) та перекриваються гальковим алювієм (так звана "карпатська галька") та лесами надзаплавної тераси.

Поновлення роботи кар'єру у 2010 р. сприяло відкриттю нових горизонтів лозозівських верств, де знайдено *Cyclomedusa tuberculata* Grytsenko sp. nov., *Cyclomedusa* cf. *plana* Glaessner & Wade, *Cyclomedusa* cf. *davidi* Sprigg (див. рис. 4 А, Г) та інші види вендської фауни, а також нижньої частини яришівської світи (бернашівські верстви). У 1,5 км на схід від кар'єру розріз продовжується у відслоненні біля с. Бернашівка (ліво-сторонній яр в долині р. Жван). Тут відкриваються вендські відклади, які нарощують розріз Бернашівського кар'єру (знизу вгору):

1) лядівські шари – зелені слюдисті аргіліти – потужність 2-3 м;

2) бернашівські шари: – перешарування сіро-зелених пісковиків та аргілітів, вище – зелені аргіліти, потужність 4 м;

3) бронницькі шари – плитчасті червоно-бурі (знизу – світло-зелені) туфогенні аргіліти (туфіти). У світлозабавлених аргілітах присутні нечіткі відбитки безскелетної фауни – потужність 5-6 м.

Палеонтологічні залишки нерівномірно поширені у верхньовендських відкладах. Найбільше видів знайдено у лозозівських верствах. Бернашівські та бронницькі верстви яришівської світи також дали значну кількість видів вендобіонтів. Головне, у бернашівських пісковиках було знайдено представника першого виду *Cyclomedusa plana* Glaessner et Wade, який дозволив корелювати розрізи венду України з розрізами едіакарію Австралії [18].

Багаті на вендотенії та мікрофосилії аргіліти калюських верств нагорянської світи. Вище нагорянської світи розріз вендських відкладів Поділля продовжує канилівська серія [5], чотири світи якої також містять відбитки та сліди вендобіонтів. Серед них переважають рештки давніх водоростей (вендотенії та тірасотенії). Часто тут на поверхнях плиток алевролітів та тонкозернистих пісковиків зустрічаються відбитки слідів життєдіяльності (іхнофосилії).

На основі циклічного підходу до розчленування венду впливає можливість поділу могилівської світи на дві підсвіти – нижню та верхню. Логічно об'єднати ольчедаївські та лозозівські верстви у нижню підсвіту, ямпільські та лядівські верстви – у верхню підсвіту.

Загалом, найбагатший комплекс вендобіонтів належить могилів-подільській серії.

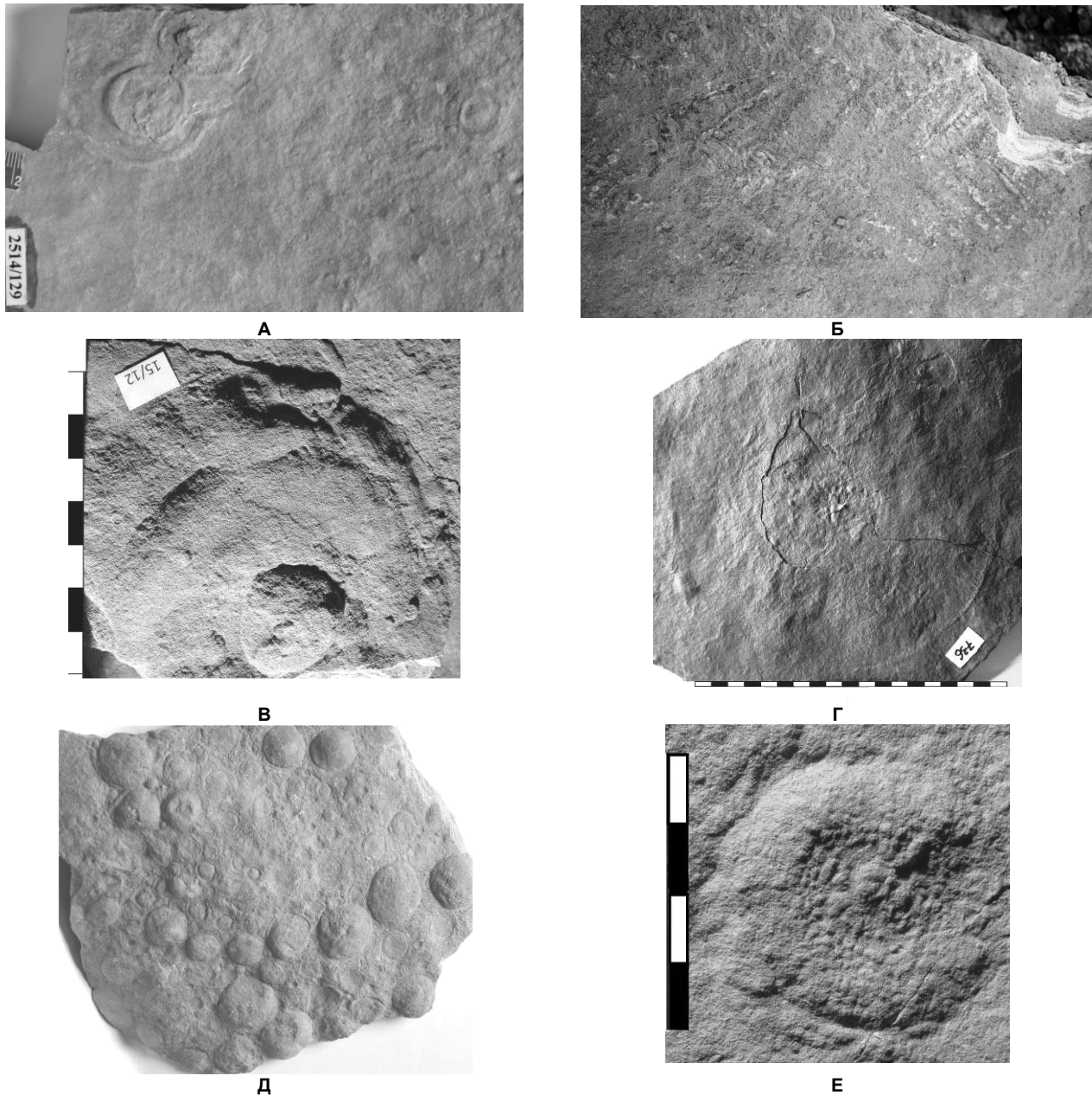


Рис. 4. Різноманіття вендобіонтів Бернашівського кар'єру:

А – зліпки поділу м'якотілих *Cyclomedusa cf. davidi* Sprigg зустрічаються у ломозівських верствах;
Б – *Charnia* sp. – знахідка Д. Пилипенка в ямпільських верствах могилівської світи; В – *Cyclomedusa sp. nov. 1* – на пісковиках, ямпільські верстви; Г – *Cyclomedusa sp. nov. 2* – на алевроаргіліті, ломозівські верстви; Д – рештки *Nemiana simplex* Palij, поширені переважно в ямпільських верствах. На зразку помітно кільцеві відбитки верхньої частини "поліпів", які можуть бути ключем до з'ясування їх природи; ямпільські верстви; Е – *Cyclomedusa tuberculata sp. nov.* – відбиток з дрібними опуклими виступами на базальній частині поліпу, ямпільські верстви

На сьогодні в колекції Геологічного музею ННПМ НАН України налічується близько 2000 зразків вендобіонтів і порід, які їх містять. Ступінь збереженості та рельєф відбитків залежить від первинної форми істот, літологічних особливостей породи та характеру відколу (рис. 4 А, Г). Є види, які були описані раніше (1968-2009 рр.) В.С. Заїка-Новацьким, В.М.Палієм, М.О. Федонкіним, Ю.О. Гурєвим, А.Ш.Менасовою, В.П.Гриценком та ін.

Серед відбитків переважають дископодібні форми з різноманітним концентричним рельєфом або без нього. Зустрічаються нові види, які були знайдені на різних рівнях розрізу верхнього венду – від ломозівських верств могилів-подільської серії до комаровських верств студеницької світи біля кривлі канилівської серії – в період з 2010 по 2015 рр. Перевагу становлять окру-

глі (циклічні) форми, які умовно відносять до кишково-порожнинних (це припущення ще не доведено, оскільки не знайдено ні порожнин, ні щупалець цих істот). Значно рідше зустрічаються двобічносиметричні форми, які можливо розділити за морфологією на три категорії: 1 – петалонами ("морські пера"); 2 – сегментовані відбитки (*Dickinsonia* sp.), які зіставляють з предками плоских червів; 3 – різноманітні іхрофосилії, які вважаються слідами повзання переважно круглих червів. Крім визначених видів, ряд зразків можна вважати слідами життєдіяльності інших проблематичних організмів, природа та систематичне положення яких ще не з'ясовано.

Розрізу венду в Бернашівському кар'єрі потрібно надати природоохоронного статусу з метою створення геологічного парку на його основі у зв'язку зі знахідками унікальних видів вендобіонтів, які, з точки зору геологів

і палеонтологів, набувають міжнародного значення. Не зайве нагадати, що розріз бернашівських верств в яру біля с. Бернашівка вже має природоохоронний статус. Залишається розширити межі існуючого об'єкту і назвати його, наприклад, геопарком.

Інспекцією з охорони природи Вінницької області разом з представниками адміністрації Дністровської ГАЕС та Могилів-Подільського району, за участі ННПМ НАН України і голови сільради с. Бернашівка було ор-

ганізоване виїзне засідання круглого столу з питань створення на базі кар'єру геологічного пам'ятника. Геологічний музей ННПМ НАН України з цього приводу підготував клопотання до Департаменту заповідної справи Міністерства екології природних ресурсів. Нас підтримують ВГО "Спілка геологів України", Палеонтологічне товариство НАН України, Національний природний парк "Подільські Товтри" та інші наукові державні та громадські організації.



Рис. 5. Відпрепарований рельєф дна моря з брижами у середині ломозівських верств. Бернашівський кар'єр:
на поверхні півтораметрової пачки грубозернистого піску-гравеліту виявилися паралельні гряди – свідчення течії на цьому етапі розвитку басейну

Безперечно, з наукової точки зору район розташування цього об'єкта є надзвичайно перспективним для розвитку міжнародного геологічного туризму, проведення конференцій, семінарів, геологічних практик та інших наукових заходів з метою обговорення ще не вирішених питань та подальшого дослідження первісної фауни на нашій планеті. Такі природоохоронні геологічні заклади (геосайти, геопарки, геологічні сади тощо) за ініціативи Міжнародного союзу геологічних наук, ЮНЕСКО та ПроГЕО набули широкого розвитку в Австралії, в країнах Азії, Африки, Європи, Південної та Північної Америки.

Висновки:

1. У результаті розгляду музейних колекцій верхнього венду Поділля виникає потреба у детальніших зборах викопних решток по всьому розрізу (могилів-подільська та канилівська серії) з метою додаткових пошуків макрофосилій, особливо білатеральних форм. На нашу думку, перспективними для пошуків можуть виявитися розрізи калюських верств у нових відслоненнях вздовж берегів Дністровського водосховища.

2. Наведені у статті дані розкривають наукову та освітню цінність розрізу ломозівських й ямпільських верств могилівської світи, а також бернашівських й бронницьких верств яришівської світи верхнього венду та колекцій вендобіонтів цих верств.

3. Вивчення та збереження колекцій вендських викопних решток Придністров'я як в музеях, так і на місцях їх видобутку (музеї просто неба), дозволить виконувати подальші наукові дослідження з метою проведення стратиграфічної кореляції розрізів з едіакарськими відкладами інших континентів. Детальне вивчення вендських відкладів та створення потужних палеонтологічних моно-

графічних колекцій вендобіонтів дозволить отримати нові дані про еволюцію біосфери докембрію.

4. Для збереження геологічних розрізів венду в Придністров'ї (починаючи з Бернашівського кар'єру) необхідно надавати їм крок за кроком природоохоронного статусу "Геологічного пам'ятника природи" з можливістю подальшого детального вивчення унікальних решток вендобіонтів.

5. Міжнародні проекти, які виконувалися для подальшого вивчення послідовності відкладів венду-едіакарію, вже дали позитивні результати. В майбутньому така кооперація дасть ще більше наукових досягнень за допомогою нових підходів до вивчення решток м'якотілих вендобіонтів [1, 5, 7].

Роботу виконано в 2013 р. за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень України (грант Ф53/111-2013). В подальшому (2014-2015 рр.) польові роботи зі збору колекцій виконувалися завдяки фінансуванню наукових досліджень ННПМ НАН України коштами за проектом "Національне надбання" та темою, що виконується у відділі "Геологія".

Список використаних джерел

1. Албани А. Новые подходы при изучении древнейшей мягкотелой фауны в разрезе верхнего венда Волыни / А. Альбани, С. Фонтане, В. Нестеровский та ін. // Природничі музеї та їх роль в освіті і науці. – Київ, 2015. – Ч. I. – С. 9-10.
2. Великанов В. Я. Розділ 2. Вендська система // Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України / В. Я. Великанов, В. Р. Мельничук; Гол. ред. П. Ф. Гожик. – К.: ІГН НАН України: Логос, 2013. – С. 49-145
3. Вендская система / Отв. Редактор Б. С. Соколов. – М.: Наука, 1985. – Т. I – 221 с.; Т. II – 240 с.
4. Заика-Новацкий В. С. Первая находка представителя эдиакарской фауны в венде Подолии / В. С. Заика-Новацкий, В. А. Великанов, А. Коваль // Палеонтол. журн. – 1968. – № 2. – С. 132-134.

5. Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы (Среднее Приднестровье, Волинь) / А. Ю. Иванцов, В. П. Гриценко, В. М. Палий и др. – Москва, 2015. – С. 1-114.

6. Уімбледон В. Проблеми охорони геологічної спадщини України / В. Уімбледон, Н. Герасименко та інші. – Київ: ДНЦ РАН НАНУ, 1999. – 129 с.

7. Dzik Jerzy, Martyshyn A. Taphonomy of the Ediacarian Podolimirus and associated dipleurozoans from Vendian of Ukraine / Jerzy Dzik, A. Martyshyn // Precambrian Research. – 2015. – 269. – P. 139-146.

References

1. Albani, A., Fontane, C., Nesterovskiy, V. et al. (2015). New approach in studies of ancient fauna in the sections of upper Vendian of Volyn Region – Natural History Museums and their Role in Education and Science. Proceedings of the International Conference. (Part I, pp. 9-10). Kyiv. [in Russian].

2. Velikanov, V.Ya., Melnichuk, V.R. (2013). Vendian System. In Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Ed. by Gozhik, P.F. (pp. 49-145). Kyiv: Logos. [in Ukrainian].

3. Sokolov, B.S. (Ed.). (1985). Vendian System. (Vols. 1-2). Moscow: Nauka. [in Russian].

4. Zaika-Novatskiy, V.S., Velikanov, V.A., Koval, A. (1968). Pervaya nakhodka predstavitelia ediakarskoi fauny v vende Podolii. Paleontol. Journ., 2, 132-134. [in Russian].

5. Ivantsov, A.Yu., Gritsenko, V.P., Palij, V.M., Velikanov, V.A., Konstantinenko, L.I. et al. (2015). Upper Vendian Macrofossils of East Europe (Middle Dniester area, Volyn). (pp. 1-144). Moscow. [in Russian].

6. Wimbledon, W.A.P., Gerasimenko, N. et al. (1999). Problems of conservation of Geological Heritage of Ukraine. (pp. 1-129). Kyiv: DNTs RNC NASU. [in Ukrainian].

7. Dzik, Jerzy, Martyshyn, A. (2015). Taphonomy of the Ediacarian Podolimirus and associated dipleurozoans from Vendian of Ukraine. Precambrian Research, 269, 139-146.

Надійшла до редколегії 15.11.15

V. Grytsenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Senior Researcher
National Museum of Natural History
National Academy of Sciences of Ukraine
15 B. Khmelnytsky Str., Kyiv, 01601 Ukraine
E-mail: favosites@ukr.net

V. Palij, Cand. Sci. (Geol.-Min.)
Institute of Geological Sciences
National Academy of Sciences of Ukraine
55-b Oles Honchar Str., Kyiv, 01022 Ukraine
K. Derevska, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, Director of Department
K. Rudenko, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher
National Museum of Natural History
National Academy of Sciences of Ukraine
15 B. Khmelnytsky Str., Kyiv, 01601 Ukraine

UNIQUE COLLECTIONS OF VENDOBIONTES AT GEOLOGICAL MUSEUM OF NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY (NMNH), NAS OF UKRAINE

Investigations of Vendian sections of Podillia have brought new achievements and discoveries. The collections of Vendian biota, studied by many researchers are stored in museums and private collections. Practical importance of these investigations is the possibility to do paleontological substantiation of stratigraphic schemes and obtaining of reliable reasons for correlation of deposits. As result of many years' expeditions, the collections of Vendian lithological, mineralogical and paleontological samples from Middle Dniester area were gathered. In particular, rich representative materials were sampled during repeated field trips to Novodnistrovsk area that are made for studying and monitoring of sections of Mogyliv and Yaryshiv Suites outcropped in Bernashivka open pit. Both early known and new genera and species of Vendian fossil organisms were found here. Prolonged investigation of certain levels in the section has allowed us to trace facial-lithological features of layers and alterations in horizons which contain findings of vendobiontes. Presence of various cyclic and bilateral symmetry of fossils and traces of their vital activity allows us to correlate Vendian sediments of Podillia and coastal area of White Sea with Ediacaran sediments (Late Proterozoic) of Australia and other continents. A large international importance of the section their paleontological, geological and biological diversities form basis for creation of a new natural conservation object at the base of the open pit.

For conservation of Vendian geological sections in Middle Dniester area we propose to give them in step-by-step manner possible environmental status with declaring them as nature geological monuments with the possibility of scientific sampling for doing more detailed study of unique Vendian biota. The activity should be started from Bernashivka open pit.

Keywords: Vendian, paleontological collections, geosites, Bernashivka open pit, Podillia.

В. Гриценко, канд. геол.-минералог. наук, доц., ст. науч. сотрудник
Национальный научно-природоведческий музей НАН Украины
ул. Б. Хмельницкого, 15, г. Київ, 01601, Украина
E-mail: favosites@ukr.net

В. Палий, канд. геол.-минералог. наук
Институт геологических наук НАН Украины
ул. Олеса Гончара, 55-б, г. Киев, 01022, Украина
Е. Деревская, д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник
К. Руденко, канд. геол. наук
Национальный научно-природоведческий музей НАН Украины
ул. Б. Хмельницкого, 15, г. Київ, 01601, Украина

УНИКАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ ВЕНДОБИОНТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ НАЦИОНАЛЬНОГО НАУЧНО-ПРИРОДОВЕДЧЕСКОГО МУЗЕЯ (ННПМ) НАН УКРАИНЫ

Исследования вендских разрезов Подолья приносят новые достижения и открытия. В музеях и частных сборах хранятся коллекции вендобонтов, которые изучались многими исследователями. Практическая значимость этих исследований состоит в возможности проведения палеонтологического обоснования стратиграфических схем и получении весомых оснований для корреляции отложений. В результате многолетних экспедиций собраны литологические, минералогические и палеонтологические коллекции из отложений венда Приднестровья. В частности, богатый материал получен нами во время неоднократных командировок в район г. Новоднестровск для изучения и мониторинга разрезов могилевской и ярышевской свит, которые обнажены в Бернашевском карьере. Тут были найдены как ранее известные, так и новые роды и виды вендских ископаемых организмов. Продолжительная разработка отдельных уровней позволила проследить фацально-литологические особенности слоев и изменения горизонтов, которые содержат находки вендобонтов. Присутствие разнообразных циклических и двустороннесимметричных остатков ископаемых организмов и следов их жизнедеятельности позволяют сопоставлять вендские отложения Подолья и побережья Белого моря с эдиакарскими отложениями позднего протерозоя Австралии и других континентов. Огромное международное значение разреза, его палеонтологическое, геологическое и минералогическое разнообразие дают основания для создания нового природоохранного объекта на основании разреза карьера. Для сохранения геологических разрезов венда в Приднестровье предлагается придавать им (начиная с Бернашевского карьера) шаг за шагом природоохранный статус геологических памятников природы, с возможностью дальнейшего изучения уникальных остатков вендобонтов.

Ключевые слова: венд, палеонтологические коллекции, геологические памятники, Бернашевский карьер, Подолье.

УДК 060(5)

Г. Анфимова, млад. науч. сотрудник
Национальный научно-природоведческий музей НАН Украины
ул. Б.Хмельницкого, 15, г. Киев, 01601 Украина
E-mail: galina-anfimova@rambler.ru

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО ФОНДА ЭТАЛОННЫХ РАЗРЕЗОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ИХ СОХРАНЕНИЯ

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

Стратотипы и опорные разрезы, имеющие большое научно-практическое и образовательное значение, должны быть сохранены. Сохранять эталонные разрезы необходимо как непосредственно на местности, *in situ*, так и *ex situ*, на базе музеев. Цель работы – разработать организацию сохранения эталонных разрезов музейными средствами на примере формирования литологического и палеонтологического фонда образцов стратотипов и опорных разрезов мезозоя Горного Крыма. Сохранение стратотипов и опорных разрезов Горного Крыма на базе музея рассматривается впервые. Применены методы полевых наблюдений, описания, сравнения, анализа через призму научно-исследовательской, научно-фондовой и научно-экспозиционной работы музеев. Анализ коллекционного фонда Геологического музея Национального научно-природоведческого музея НАН Украины на предмет полноты представления различных регионов и возрастных диапазонов в структуре собрания вывел лакуны в представлении Горного Крыма. В ходе полевых работ 2011, 2012, 2015 гг собрана коллекция в количестве 221 единицы хранения. Количество предметов коллекции – 854, в том числе фауны – 275. Эти образцы представляют 30 свит и 26 толщ (из 43 и 37 соответственно), выделенных в мезозое Горного Крыма. Особенности сбора и описания коллекции заключались в следующем: 1. Отбор основных литолого-петрографических типов пород, представляющих разрезы; 2. Отбор из разрезов образцов, представляющих особый геологический интерес, а также образцов, наделённых свойствами музейного предмета – аттрактивностью и экспрессивностью; 3. Каждый предмет литологической коллекции имеет дублирующие образцы; 4. Впервые в Геологическом музее ННПМ НАН Украины в процессе сбора коллекции осуществлена 100% GPS-привязка и фотофиксация всех предметов коллекции; 5. Инструментальных литологических исследований не проводилось, характеристика образцов представлена на уровне макроописания; 6. Примечательной особенностью многих стратотипов и опорных разрезов является то, что они выступили как местонахождения целого ряда минералов; 7. Следуя стремлению к неразрывности показа литологии и фауны для полноты представления слоёв разреза, по возможности, из них производился отбор остатков ископаемой фауны. На примере формирования коллекционного фонда по эталонным разрезам мезозоя Горного Крыма отрабатывается методика сохранения этих разрезов на базе музеев естественнонаучного профиля.

Ключевые слова: музей, коллекция, стратотип, опорный разрез, Горный Крым, мезозой, свита, толща.

Постановка проблемы. Стратотипы и опорные разрезы, выступающие в роли эталонов стратиграфических подразделений любого ранга, имеют важнейшее научно-практическое и образовательное значение. Стратотипов подразделений международной стратиграфической шкалы в Горном Крыму нет. Здесь представлены эталонные разрезы подразделений местной стратиграфической шкалы – свит и толщ. Свиты и толщ – основные картируемые единицы при средне- и крупномасштабной геологической съёмке, объекты геологической корреляции на региональном уровне. Данные, полученные в результате исследования их эталонных разрезов, кладутся в основу построения местных и региональных стратиграфических схем, используются при составлении легенд карт.

На территории Горного Крыма созданы и функционируют три стационарных полевых учебных центра, в которых практическое обучение проходят студенты десятков вузов ближнего и дальнего зарубежья. Значительная часть эталонных разрезов, выделенных в юго-западную часть Крыма, входят в состав ныне действующих либо существовавших в прошлом учебных полигонов. Отдельные стратотипы и их эталонные разрезы впервые выделены и изучены в их пределах.

Разрезы, выделенные в качестве стратотипов подразделений местной стратиграфической шкалы, на протяжении многих десятилетий выступают объектами фундаментальных геологических исследований. Имеются различия в интерпретации данных о возрасте, объёме, содержании стратотипов разными исследователями. Факт наличия разногласий, с одной стороны, выступает основанием для проведения дальнейших работ по доизучению эталонных разрезов выделенных подразделений, с другой – может служить обоснованием необходимости их сохранения.

В мезозое Горного Крыма выделены 81 литостратиграфическое подразделение: 1 серия, 43 свиты, 37 толщ. Таврическая серия не имеет стратотипа. Для свиты установление стратотипа является обязатель-

ным, для толщи рекомендуется ссылка на опорный разрез. Таким образом, общее количество стратотипов свит и опорных разрезов толщ, выделенных в мезозое Горного Крыма – 80 [1, 3, 4, 7].

Работы по инвентаризации, мониторингу, разработке мер по сохранению объектов проводятся в рамках бюджетных тем "Природні геологічні пам'ятки та їх представлення в експозиції Національного науково-природничого музею (ННПМ) НАН України" (2008-2011 гг), "Розробка регіональної літотеки рифей-фанерозойських відкладів Волино-Поділля і Криму на базі колекцій Геологічного музею ННПМ НАН України" (2012–2016 гг).

По нашему мнению, сохранять эталонные разрезы необходимо как непосредственно на местности, *in situ*, так и *ex situ*, на базе музеев. Сохранение стратотипов и опорных стратиграфических разрезов на базе музеев предлагается организовать в соответствии с основными направлениями музейной работы (научно-исследовательской, научно-фондовой и научно-экспозиционной) и реализовывать следующим образом:

1) создание и сопровождение региональной базы данных эталонных геологических разрезов, формирование файловых архивов фотографий объектов, видеоматериалов, графики;

2) формирование литологического и палеонтологического фондов;

3) представление и популяризация эталонных геологических разрезов средствами музейной экспозиции.

Сохранение стратотипов и опорных разрезов на базе музеев рассматривается как альтернативный, дублирующий вариант комплексу мер их организационно-правовой защиты на местности. Однако идея сохранения этих разрезов на базе музеев к настоящему времени практически не реализована. Данная статья посвящена такому аспекту применения музейного инструментария для сохранения эталонных геологических разрезов как формирование коллекционного фонда.

Анализ последних исследований и публикаций. Идея сохранения эталонных геологических объектов на

базе музеев высказывалась ранее неоднократно. Специалист в области геологического музееведения Л.П. Брюшкова приводит цитату из архивного документа 1924 г, в котором анализируется состояние геологических музеев, и, в частности, отмечается, что "остро необходимо сохранять вещественные оригиналы "голотипы" в палеонтологии, профили и разрезы в геологии" [6, с.72]. По мнению Л.П. Брюшковой, помимо эталонных и монографических минералогических и палеонтологических коллекций, в качестве эталонов должны собираться также объекты динамической геологии, петрографические и литологические образцы [6]. В издании 1976 г, посвящённом 50-летию Института геологических наук АН УССР, в качестве перспективного направления развития Геологического музея были указаны создание отдела региональной геологии Украины и отдела стратотипических разрезов [5]. Коллективом отечественных исследователей В.П. Гриценко, А.А. Ищенко, Ю.А. Русько, В.И. Шевченко впервые в качестве типа геологических памятников природы (ГПП) выделен музейно-коллекционный [2]. По убеждению М.Н. Малеева и Н.И. Краснова, полное сохранение геологического наследия *in situ* "... в количестве и качестве достаточном для удовлетворения научных и культурных потребностей настоящего и последующего поколений" в принципе невозможно [10]. Разрабатывая программу по сохранению минерального разнообразия, авторы утверждают, что минеральное разнообразие планеты Земля может быть и должно быть сохранено *ex-situ*, на базе музеев естественнонаучного профиля. Объекты-носители минерального разнообразия, относящиеся к ГПП, Е.П. Щербакова предлагает представлять в музее с помощью коллекций минералов, составляющих вещественную суть конкретных объектов, интерпретационной графики, статических и динамическими кадастров изображений [10]. В ННПМ НАН Украины имеется опыт организации хранения и работы с монографическими палеонтологическими коллекциями, количество которых к настоящему времени превысило 350 единиц.

Часть общей проблемы, рассматриваемой впервые – сохранение стратотипов и опорных разрезов Горного Крыма на базе музея.

Цель статьи – разработать организацию сохранения эталонных разрезов музейными средствами на примере формирования литологического и палеонтологического фонда образцов стратотипов и опорных разрезов мезозоя Горного Крыма.

Изложение основного материала. Ядром представляемого в музее стратотипа/опорного разреза является каменный материал – литологические образцы и ископаемая фауна, которые отражают вещественную суть объекта.

В 2009–2011 гг проведена инвентаризация палеонтологического собрания Геологического музея ННПМ НАН Украины. Анализ коллекционного фонда музея на предмет полноты представления различных регионов и возрастных диапазонов в структуре собрания высветил лакуны в представлении Горного Крыма. Так, несмотря на то, что здесь хранятся 35 коллекций образцов ископаемой фауны и флоры, имеющих отношение к Крымскому региону (хронологический диапазон: пермь – четвертичный периоды), ископаемые мезозоя представлены крайне недостаточно. Небольшая литологическая коллекция экспонируется в зале "История геологического развития территории Украины".

Новая коллекция литологических образцов и фауны из стратотипов и опорных разрезов собрана в ходе полевых работ 2011, 2012, 2015 гг, главной целью которых

были инвентаризация и мониторинг эталонных геологических разрезов. Полевые работы включали: уточнение местоположения объектов (с использованием GPS-навигации), осмотр обнажений, полевое описание и фотографирование, отбор основных типов пород, представляющих свиту (толщу) и фауны (по возможности).

В результате полевых работ обследовано 56 разрезов, проведена экспертная оценка обнажений как объектов геологического наследия по критериям: типология, оценка уникальности, научной и образовательной ценности, сохранности объектов, их ранжирование и др. Выявлены природные и антропогенные факторы, оказывающие негативное воздействие на объект. Собраны образцы, представляющие 30 свит и 26 толщ (из 43 и 37 соответственно, выделенных в мезозое Горного Крыма).

Собранная коллекция хранится в Геологическом музее ННПМ НАН Украины под № 2520. Количество единиц хранения – 221. Количество предметов коллекции – 854, в том числе фауны – 275.

Особенности сбора и описания коллекции.

Ввиду значительной мощности отложений, слагающих эталонный разрез, физически невозможно воссоздать его точную копию *ex situ* в фондохранилище и, тем более, в музейной экспозиции. Так, мощность отложений, слагающих эталонные разрезы свит и толщ, колеблется от первых метров (например, мощность пачки красно-бурых органогенных известняков – 2 м) до нескольких сотен метров и более (к примеру, битакской свиты – 1510 м). Послойная характеристика белогорской свиты, мощность которой оценивается в 400 м, содержит описание 83 слоёв. Очевидно, что есть необходимость в генерализации информации об объекте. В первую очередь отбирались основные литолого-петрографические типы пород, составляющие разрез. Эти образцы имеют наибольший удельный вес в собранной коллекции и представлены породами осадочного и вулканического происхождения. Среди осадочных пород – различные типы известняков (обломочные, органогенные, органогенно-обломочные, онколитовые, брекчиевидные, мраморовидные и др.), конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, алевропесчаники, аргиллиты, глины, мергели, гагатообразный уголь; среди вулканических – базальты, андезиты, туфы.

Из разрезов отбирались образцы, представляющие особый геологический интерес. К таким, например, можно отнести образцы, содержащие контакты между породами: конгломерат → гравелит (№ 2520/63) из горновской толщи, песчаник → гравелит (№ 2520/160) из эски-ординской свиты; контакты между стратиграфическими подразделениями: образец (№ 2520/68), атрибутированный как осадочная брекчия из зоны тектонического контакта известняков байддарской свиты ($J_3^{tt}-K_1^b$) и гравелитов чоргуньской толщи (K_{1ab2-3}). Одно из требований к выбору стратотипа, закреплённое в Стратиграфическом кодексе – отсутствие в стратотипе структурных осложнений и нарушений – в действительности, применительно к стратотипам Горного Крыма, соблюдается не всегда. Например, из стратотипа султановской свиты отобраны многочисленные зеркала скольжения (№ 2520/192, 196) как результат проявления разрывных нарушений. Своеобразную геодинамическую ситуацию прошлого демонстрируют деформации в песчаниках курской толщи (№ 2520/187) как результат подводного оползания осадка в процессе формирования породы.

Из разрезов также были взяты геологические образцы, наделённые такими свойствами музейного предмета, как аттрактивность и экспрессивность. К таким предметам коллекции можно отнести, например, кальцитовые щётки и жеоды из глин широковской толщи

(№ 2520/77), копсельской свиты (№ 2520/14, 19), известняков двукорной (№ 2520/26) и белогорской (№ 2520/170, 200) свит, щётки горного хрусталя и жеоды (№ 2520/103) из песчаников таврической серии.

Определённый научный интерес представляют новообразования и включения, отобранные из разрезов. Вместе с тем, эти образцы весьма аттрактивны. Из новообразований и включений в коллекции представлены сидериты в виде конкреций и прослоев (№ 2520/15, 21, 76, 81, 117, 151, 153, 177, 183, 186), кремневые конкреции (№ 2520/211, 47), глинисто-карбонатные стяжения с корками гипсовой минерализации, выделениями лимонита и ярозита (№ 2520/93, 112), стяжения с септариевой структурой (№ 2520/123), фосфоритовые желваки (№ 2520/140, 144), барит (№ 2520/42, 190) и др.

Каждый предмет коллекции, помещённый в основной фонд, сопровождается дублирным материалом, который предполагает в дальнейшем возможность осуществления дополнительных вещественных исследований предметов данной коллекции.

Впервые в Геологическом музее в процессе сбора коллекции осуществлена 100% GPS-привязка всех предметов коллекции, благодаря чему место отбора образцов определяется на местности с точностью до 10 м.

Выполнена фотофиксация всех предметов коллекции.

Проведены атрибутирование, регистрация, описание литологических образцов коллекции. Краткое описание предмета коллекции включает его характеристику как геологического образца и как музейного предмета. Инструментальных литологических исследований не проводилось, характеристика образцов представлена на уровне макроописания. Включены данные о размерах, форме, степени сохранности образцов, характеризуется музейное значение предметов коллекции. Параметрами описания являются также подробная географическая привязка образцов, GPS-координаты, привязка к литостратиграфическому подразделению и разрезу, датировка.

План развития Геологического музея с момента его образования предполагал создание отдела региональной геологии [5]. Идея реализована частично: два из пяти экспозиционных залов построены на региональных материалах. С целью расширения региональной тематики в Геологическом музее ННПМ НАН Украины в 2011 г. положено начало формированию систематической коллекции минералов Крыма. Автором коллекции – канд. геол. наук А.И. Тищенко – переданы образцы в количестве 51 единицы, включающие 19 минеральных видов. Регистрационный номер коллекции – 2519. Каждый её образец примечателен в каком-либо отношении. Среди переданных минералов присутствуют характерные и редкие для Крыма. В коллекции имеются минералы, обнаруженные в единственных для Крыма местонахождениях. Также представлены минералы из местонахождений, находящихся в Крыму под угрозой уничтожения. Среди переданных интерес представляют образцы, дающие представление о составе гидротермальных жидкостей из разновозрастных отложений Крыма, а также те, с помощью которых визуализируется последовательность минералообразования. Описания образцов сопровождаются данными инструментальной диагностики. Все они искусно препарированы, внешне очень эффектны и, в целом, имеют важное музейное значение.

Ввиду того, что в Геологическом музее ННПМ НАН Украины был начат процесс комплектования систематической коллекции минералов по Крыму, сбор собственной минералогической коллекции не входил в задачи полевых работ экспедиций 2011, 2012 гг, организо-

ванных ННПМ НАН Украины. Из разрезов были отобраны: палыгорскит, анкерит, ломонтит, горный хрусталь, гипс, алушит, ярозит, барит, гагат, кальцит.

Почти все они относятся к наиболее распространённым минералам, характеризующимся обширной географией местонахождений в Крыму. Самые распространённые из них – кальцит и горный хрусталь – представлены в коллекции эффектными друзами и жеодами.

Примечательной особенностью многих стратотипов и опорных разрезов является то, что они выступили как местонахождения целого ряда минералов. Данное утверждение базируется на данных о местонахождениях минералов Крыма, приводимых А.И. Тищенко [9], а также собственных наблюдениях. В качестве лишь некоторых примеров таких разрезов – стратотипы копсельской (гагат, гипс, кальцит, кварц, сидерит, целестин, ярозит), судакской (гётит, гипс, доломит, кальцит, кварц, пирит, сидерит, стронцианит, целестин), тапшанской (галька рифейских гранитов, кварцевых порфиров, липаритов, гранатосодержащих дацитов, гнейсов, кристаллических сланцев, турмалиновых роговиков), бешуйской (гагат, кварц, пренит, сидерит, увеллит), старосельской (глауконит, кремь), двукорной (аргонит, барит, гётит, гипс, доломит, кальцит, кварц, кутногорит, марказит, пирит, сера, стронцианит, целестин), резанской (гидроксилапатит), карадагской свит, пачки красно-бурых органогенных известняков (гётит, гидрогётит), марьинской (пирит, барит) толщи, а также биасалинской, бешкошской свит, чоргуньской толщи и др. Сочетание в одном объекте стратиграфической и минералогической составляющих усиливают его научное и образовательное значение.

Следуя стремлению к неразрывности показа литологии и фауны (в идеале: вид-индекс – литологический образец (отобранный из слоя) – характерная для него фауна) для полноты представления слоёв разреза в экспозиции, по возможности, собиралась фауна.

Среди палеонтологических коллекций, хранящихся в Геологическом музее ННПМ НАН Украины, важную роль в изучении палеонтологии и стратиграфии мезозоя Горного Крыма играют следующие коллекции:

- № 1769: "Оригиналы фауны к монографии Т.В. Астаховой "Триасові двостулкові і головоногі молюски Криму", поступившая в музей в 1967 г, послужила основой первого монографического изучения триасовых двустворчатых и головоногих моллюсков Крыма, на основании чего разработана региональная унифицированная схема триасовых отложений. В коллекции представлены 8 местонахождений триасовой фауны в Крыму. Количество учетных единиц в коллекции – 85, наименований видов – 31. Ввиду того, что флишевые отложения верхнего триаса Горного Крыма чрезвычайно бедны фаунистическими остатками, повторить сборы Т.В. Астаховой практически невозможно;

- № 2201: "Оригиналы флоры к монографии Ю.В. Тесленко, Г.Г. Яновской "Среднеюрская флора Горного Крыма" включает отпечатки растений и палиноморф в количестве 66 единиц хранения. Наименования видов в коллекции – 41. По результатам их изучения были выделены флористические комплексы аале-на, байоса и бата Горного Крыма, проведено их сопоставление с разновозрастными флорами Евразии;

- № 1981: "Оригиналы фауны к монографии А.В. Иванникова "Иноцерамы верхнемеловых отложений юго-запада Восточно-Европейской платформы" содержит 53 учётных единицы ископаемых остатков этой важнейшей руководящей группы двустворчатых моллюсков. Помимо крымского материала, данное со-

бране включает материал из Донецкого бассейна. Количество наименований видов в коллекции – 53;

• № 532: "Фауна из меловых и палеогеновых отложений Горного Крыма" М.Д. Персовой, поступившая в музей в 1931 г и содержащая важные для мезозоя группы ископаемых организмов: моллюски, иглокожие, брахиоподы, фораминиферы. Количество единиц хранения – 385.

Таким образом, среди монографических палеонтологических коллекций по Горному Крыму, хранящихся в Геологическом музее ННПМ НАН Украины, отсутствуют коллекции по фауне из юрских отложений, ископаемым нижнего мела. С точки зрения систематической принадлежности в составе монографических палеонтологических коллекций по данному региону нет таких важных для мезозоя групп организмов как иглокожие (морские ежи и криноидеи), шестилучевые кораллы, брахиоподы, двусторчатые моллюски (тригонии, рудисты), недостаточно представлены губки, ракообразные, амmonoидеи, белемnoидеи, гастроподы. Отсутствуют коллекции микрофлоры и микрофауны.

Небольшая коллекция фауны из мезозоя Горного Крыма представлена в экспозиции "История геологического развития территории Украины". Материалом для неё послужили, главным образом, так называемые "сборные коллекции" (№ 1069, 1770, 1857), поступившие в музей в 30–60-е годы от Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института им. акад. Ф.Н. Чернышёва в качестве обменного фонда. Эти коллекции, содержащие различные систематические группы ископаемых разного возраста из разных местонахождений территории бывшего СССР, включающие, в том числе, гипсовые модели и слепки, и, являясь, по сути, научно-вспомогательным фондом, помогли восполнить пробелы при построении экспозиции по исторической геологии отдела.

В ходе полевых работ экспедиций 2011, 2012 гг, организованных ННПМ НАН Украины, из разрезов, в первую очередь, производился отбор литологических образцов. Собранная коллекция ископаемой фауны включает 275 предметов. В ней представлены ископаемые эталонных разрезов следующих стратон: белогорской (K_2c), судакской ($J_2k_3-J_3o_1$), резанской ($K_1v_2-g_1$), старосельской (K_2m) свит, карагачской (K_1g_1), межгорьевской толщ (K_1b_2), пачек красно-бурых органогенных известняков ($K_1g_2-br_2$), феодосийских мергелей (K_1b_{1-2}), солнечносельской (K_1b_2), тас-коринской (K_1b) толщ. В систематическом отношении в сборах представлены амmonoидеи, белемnoидеи, аптихи, брюхоногие и двусторчатые моллюски, брахиоподы, кораллы и др.

Отложения берриасского яруса на территории Украины обнажаются только в Горном Крыму и Карпатах [8]. В Крыму берриас представлен преимущественно мелководными песчано-глинистыми и карбонатными отложениями, изобилующими ископаемой фауной, в Карпатах – отличным от крымского комплекса пород – терригенно-карбонатным флишем. Собранную коллекцию остатков ископаемой фауны из пограничных J-K отложений Горного Крыма можно считать уникальной, поскольку ранее ископаемые указанного возрастного диапазона и данного региона в палеонтологическом собрании Геологического музея представлены не были.

Данные о коллекции интегрированы с созданной базой данных эталонных геологических разрезов мезозоя Горного Крыма.

Выводы. Представление стратотипа в музее базируется, в первую очередь, на использовании каменного материала, составляющего вещественную суть объекта, и рассматривается, в данном случае, на примере

формирования фонда литологических образцов и остатков ископаемых организмов из эталонных разрезов стратон, выделенных в мезозойских отложениях Горного Крыма.

Основными принципами формирования коллекционного фонда эталонных разрезов выступили:

- отбор основных литолого-петрографических типов пород, составляющих разрез, с привязкой к частям разреза;
- отбор из эталонных разрезов образцов, представляющих особый геологический интерес (контакты между породами, новообразования и включения, эффектные минералы и т.д.);
- 100% GPS-привязка и фотофиксация образцов коллекции;
- сопровождение каждого образца дублирным материалом;
- отбор ископаемых с привязкой к разрезу.
- Задачами на перспективу являются:
- проведение инструментальных литологических исследований образцов;
- препарирование и определение остатков ископаемой фауны;
- планирование дальнейшего комплектования коллекционного фонда эталонных разрезов указанных региона и возрастного диапазона.

Таким образом, на примере формирования коллекционного фонда по эталонным разрезам мезозоя Горного Крыма отрабатывается методика сохранения этих разрезов на базе музеев.

Список использованных источников

1. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережья Черного моря) [Текст] / Т. В. Астахова, С. В. Горак, Е. Я. Краева [и др.]; под ред. Е. Ф. Шнюкова. – Киев: Наукова думка, 1984. – 184 с.
2. Гриценко В. П. Геологічні пам'ятки природи України: проблеми вивчення, збереження та раціонального використання [Текст] / Гриценко В. П., Іщенко А. А., Русько Ю. О., Шевченко В. І. – Препринт. – Київ: Центральный научно-природный музей НАН Украины, 1995. – 60 с. – (Препринт/ НАН Украины, Центральный научно-природный музей; 95-1).
3. Державна геологічна карта України. Масштаб 1: 200 000. Кримська серія. Аркуші L-36-XXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). Пояснювальна записка [Текст] / упоряд.: Б. П. Чайковський, С. В. Білецький, В. Б. Дєєв, О. С. Дем'ян, С. І. Краснорудська. – К.: Державна геологічна служба, Казенне підприємство "Південнегеоцентр", УкрДГПІ. – 2006. – 175 с.
4. Державна геологічна карта України. Масштаб 1: 200 000. Кримська серія. Аркуші L-36-XXIX (Сімферополь), L-36-XXXV (Ялта). Пояснювальна записка [Текст] / упоряд.: Л. А. Фіколіна, О. О. Білокрис, Н. О. Обшарська, С. І. Краснорудська, Н. І. Удовіченко. – К.: Державна геологічна служба, Казенне підприємство "Південнегеоцентр", УкрДГПІ. – 2008. – 143 с.
5. Институт геологических наук [Текст]: / отв. ред. В. Я. Дидковский. – Киев: Наукова думка, 1976. – 182 с.
6. Коллекции геологических музеев как часть культурного наследия [Текст]: / сост.: Л. П. Брюшкова; отв. ред. Г.Б. Наумов. – М.: Наука. – 1993. – 94 с.
7. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України [Текст]: у 2 томах / голов. ред. П. Ф. Гожик. – К.: ІГН НАН України. Логос, 2013. – Т.1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. – К.: ІГН НАН України. Логос, 2013. – 637 с.
8. Стратиграфія УРСР [Текст]: у 11 томах / голов. ред. В. Г. Бондарчук. – Київ: Наукова думка, 1968-1975. Т.VIII. Крейда / відп. ред. О. К. Каптаренко-Черноусова, Київ: Наукова думка, 1971. – 319 с.
9. Тищенко А. И. Минералы Крыма [Текст]: / А. И. Тищенко. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2015. – 304 с.
10. Щербакoвa Е. П. Сохранение геологического наследия и задачи музеев [Текст] / Е. П. Щербакoвa // Изучение, сохранение и использование объектов геологического наследия северных регионов (Республика Коми): материалы научно-практической конференции (4-8 сентября 2007 г., г. Сыктывкар). – Сыктывкар, 2007. – С. 15.

References

1. Shnyukov, E.F. (Ed). (1984). *Geology of the UkrSSR shelf. Stratigraphy (shelf and the coast of the Black sea)* [Geologiya shelfa USSR. Stratigrafiya (shelf i poberezh'ya Chernogo morya)]. (pp. 184). Kiev: Naukova dumka. [in Russian].
2. Gritsenko, V.P., Ischenko, A.A., Rusco, Yu.O., Shevchenko, V.I. (1995). *Geological natural monuments of Ukraine: problems of study, preservation and rational use* [Geologichni pam'yatky pryrody Ukrainy: problemy vyvchennya, zberezhennya ta ratsionalnogo vykorystannya].

(Working paper 95-1). Kyiv: NAS of Ukraine, Central Museum of natural history. [in Ukrainian].

3. Chaykovskyy, B.P., Biletskyi, S.V., Deev, V.B., Demian, O.S., Krasnorudskaya, S.I. (2006). *State geological map of Ukraine*. Scale 1:200,000. Crimean series. Sheet L-36-XXVIII (Yevpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol). Explanatory note [Derzhavna geologichna karta Ukrainy. Masshtab 1:200000. Krymska seriya. Arkushi L-36-XXVIII (Yevpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol). Poyasnyvalna zapyska]. (pp. 175). Kiev: State Geological Survey, State-owned enterprise Pivdenekogeotsentr, UkrSGPI. [in Ukrainian].

4. Fikolina, L.A., Bilokrysiy, O.O., Obsharska, N.O., Krasnorudskaya, S.I., Udovichenko, N.I. (2008). *State Geological map of Ukraine*. Scale 1:200,000. Crimean series. Sheet L-36-XXIX (Simferopol), L-36-XXXV (Yalta). Explanatory note [Derzhavna geologichna karta Ukrainy. Masshtab 1:200,000. Krymska seriya. Arkushi L-36-XXIX (Simferopol), L-36-XXXV (Yalta). Poyasnyvalna zapyska]. (pp. 143). Kiev: State Geological Survey, State-owned enterprise Pivdenekogeotsentr, UkrSGPI. [in Ukrainian].

5. Didkovskiy, V.Ya. (Ed.). (1976). *Institute of geological Sciences* [Institut geologicheskikh nauk]. Kiev: Naukova Dumka. [in Russian].

6. Bryushkova, L.P. (1993). *The collections of geological museums as part of cultural legacy* [Kollektzii geologicheskikh muzeev kak chast kulturnogo naslediya]. Ed. by G.B. Naumov. Moscow: Nauka. [in Russian].

7. Gozhyk, P.F. (Ed.). (2013). *Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine*. (Vol. I. Stratigraphy of Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine). Kyiv: IGS NAS of Ukraine. Logos. [in Ukrainian].

8. Bondarchuk, V.G. (Ed.). (1971). *Stratigraphy of the USSR*. (Volume VIII. Cretaceous [executive ed. O.K. Kaptarenko-Chernousova]). [Stratigrafiya USSR. Tom VIII. Kreyda]. Kiev: Naukova dumka. [in Ukrainian].

9. Tischenko, A.I., (2015). *Minerals of the Crimea* [Mineraly Kryma]. (304 p.). Simferopol: Biznes-Inform. [in Russian].

10. Scherbakova, E.P., (2007). *Geoheritage conservation and the museum tasks* [Sokhranenie geologicheskogo naslediya i zadachi muzeev]. *The Northern regions (Komi Republic) geoheritage study, preservation and use* [Izuchenie, sokhranenie i ispolzovanie ob'ektov geologicheskogo naslediya severnykh regionov (Respublika Komi)]: *Proceedings of scientific-practical conference*, Syktyvkar, Russia, Institute of Geology Komi SC UB RAS, 4-8 Sept., 2007. (p. 15). Syktyvkar. [in Russian].

Надійшла до редколегії 21.11.15

G. Anfimova, Research Associate
National Museum of Natural History
National Academy of Sciences of Ukraine
15 B. Khmelniysky Str., Kyiv, 01601 Ukraine
E-mail: galina-anfimova@rambler.ru

FORMATION OF REFERENCE SECTIONS COLLECTION FUNDS AS AN INSTRUMENT OF THEIR CONSERVATION

Stratotypes and reference sections, that have great scientific and educational value, should be preserved. There is a need to preserve the reference sections both on location, in situ, and ex situ, on the basis of museums. The purpose of article is to develop the organization of reference sections conservation by Museum means on the example of the Mountainous Crimea Mesozoic stratotypes and the reference sections lithological and paleontological fund formation. The Mountainous Crimea stratotypes and reference sections preservation on the basis of the Museum is considered for the first time. Methods of field observations, description, comparison, analysis through the prism of the Museum research work, scientific and stock work, exhibition work are applied. The Geological Museum of the National Museum of Natural History (NMNH) NAS of Ukraine collections analysis for completeness of the various regions and age ranges representation in the structure of the Museum's collection highlighted the gaps in the Mountainous Crimea representation. During the field works of 2011, 2012, 2015 the collection of 221 storage units was assembled. The number of samples in the collection is 854, among them fauna – 275. These samples represent 30 suites and 26 strata (43 and 37 accordingly) distinguished in the Mountainous Crimea Mesozoic deposits. Features of sampling and the collection description are as follows. (1) Sampling of main lithological-petrographic rock types, which represent the section. (2) Sampling from standard sections rocks which are of particular geological interest, as well as the samples that have the attractiveness and expressiveness characteristics. (3) Every object of lithological collection has duplicate samples. (4) For the first time in the Geological Museum of NMNH NAS of Ukraine in the process of collecting the 100% GPS reference and photographs of samples are made. (5) Instrumental lithological studies haven't been carried out, the samples characteristic is presented at the level of macro description. (6) Remarkable feature of many of stratotypes and reference sections is that they act as locations of a number of minerals. (7) Following the desire for the continuity of the lithological and fauna samples showing, for the completeness of the section layers representation, if possible, we also gathered fossils. By creating a lithological and paleontological fund of the Mountainous Crimea standard sections the methods for their conservation on the basis of Natural History museums are developed.

Keywords: Museum, collection, stratotype, reference section, Mountainous Crimea, Mesozoic, suite, strata.

G. Anfimova, мол. наук. співроб.
Національний науково-природничий музей НАН України
вул. Б. Хмельницького, 15, м. Київ, 01601, Україна
E-mail: galina-anfimova@rambler.ru

ФОРМУВАННЯ КОЛЕКЦІЙНОГО ФОНДУ ЕТАЛОННИХ РОЗРІЗІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЇХ ЗБЕРЕЖЕННЯ

Стратотипи і опорні розрізи, які мають велике науково-практичне і освітнє значення, мають бути збережені. Зберігати еталонні розрізи необхідно як безпосередньо на місцевості, in situ, так і ex situ, на базі музеїв. Мета роботи – розробити організацію збереження еталонних розрізів музейними засобами на прикладі формування літологічного та палеонтологічного фонду зразків стратотипів і опорних розрізів мезозою Гірського Криму. Збереження стратотипів і опорних розрізів Гірського Криму на базі музею розглядається вперше. Застосовано методи польових спостережень, опису, порівняння, аналізу через призму науково-дослідної, науково-фондової та науково-експозиційної роботи музеїв. Аналіз колекційного фонду Геологічного музею Національного науково-природничого музею (ННПМ) НАН України на предмет повноти представлення різних регіонів і вікових діапазонів у структурі зборів висвітлює лакуни в поданні Гірського Криму. В ході польових робіт 2011, 2012, 2015 рр зібрано колекцію в кількості 221 одиниці зберігання. Кількість предметів колекції – 854, у тому числі, фауни – 275. Ці зразки являють 30 світ і 26 товщ (з 43 і 37 відповідно), виділених в мезозої Гірського Криму. Особливості збору та опису колекції полягали в такому: 1. Відбір основних літолого-петрографічних типів порід, що представляють розріз; 2. Відбір з розрізів зразків, що представляють особливий геологічний інтерес, а також зразків, наділених властивостями музейного предмета – атрактивністю та експресивністю; 3. Кожен предмет літологічної колекції має дублетні зразки; 4. Вперше в Геологічному музеї ННПМ НАН України в процесі збору колекції здійснено 100% GPS-прив'язку і фотофіксацію всіх предметів колекції; 5. Інструментальних літологічних досліджень не проводилося, характеристика зразків представлена на рівні макроопису; 6. Примітна особливість багатьох стратотипів і опорних розрізів – те, що вони виступають як місця знаходжень цілого ряду мінералів; 7. Слідуючи прагненню до нерозривності показу літології та фауни, для повноти подання шарів розрізу, за можливості, збиралися викопні рештки. На прикладі формування колекційного фонду еталонних розрізів мезозою Гірського Криму відпрацьовується методика збереження цих розрізів на базі музеїв природничого профілю.

Ключові слова: музей, колекція, стратотип, опорний розріз, Гірський Крим, мезозой, свита, товща.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 551.4.08

Saeed Al Rashedi

Abdi Siad

E-mail: saeed-2262@hotmail.com

Department of Earth Sciences

University of the Western Cape, CapeTown, SouthAfrica

GEOCHEMICAL CLASSIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE BEACH SANDS OF ABU DHABI, UNITED ARAB EMIRATES: A COMBINATION OF CLUSTER AND DISCRIMINANT ANALYSIS

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

Fifty seven beach sand samples were collected along the shoreline of Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE). The aim of the paper is to geochemically classify and characterize the beach sediments of Abu Dhabi. Their geochemical compositions were determined, using X-ray fluorescence analysis. A combination of cluster and discriminant analysis was applied to classify and characterize the beach sand. Cluster analysis produced a dendrogram with two major beach sand types namely terrigenous and marine sand types. Each sand type were further subdivided into two and was characterized through discriminant. The terrigenous sand type was subdivided into allumino-silicate characterized by SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O and TiO_2 and heavy mineral-rich allumino-silicate through high content of Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO and MnO , while the marine sand type was subdivided into biogenic marine carbonate with high content of CaO and LOI and halite-rich biogenic carbonate marine sand types with Na_2O in addition CaO and LOI . Through stepwise discriminant analysis it was possible to identify SiO_2 and Fe_2O_3 as best discriminating geochemical variable for the four sand types by 100%.

Keywords: beach sand, shoreline, geochemical compositions, X-ray analysis.

Introduction. The composition and geochemical variation of beach sediments is controlled by numerous components and processes, including source composition, sorting, climate, relief, long shore drift, and winnowing by wave action [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13].

Beaches are exposed to different marine, fluvial, and eolian processes such as wave and tidal regimes, fluvial discharges and wind transport among others factors. Furthermore, these factors control the grain-size and sand composition of the beaches in terms of mineralogy and geochemistry.

In addition, geomorphological features in the coast may also have a control in the grain-size, composition and geochemistry of beaches [14]. For instance, some beaches

in protected embayments may have coarse grain sizes as result of little energy and removal of finer sizes offshore [13]. Furthermore, provenance of coastal sands may be related to different tectonic settings, as it has been documented in several papers [4, 10, 12].

Beach sands are generally composed of quartz, feldspar, other silicates, lithic fragments, and biogenic material such as shells, and are products of weathering, fragmentation and degradation.

The present study examines the geochemistry of beach sand samples collected along the coastal area Abu Dhabi (Fig. 1). The objective of this study is to classify, characterize and to infer the provenance of the beach sand.



Fig. 1. Location map of sampling sites at the study area of Abu Dhabi, United Arab Emirates

1.1 Study area.

The study area is located in Abu Dhabi Emirate (state) which is the capital and the largest city in the United Arab

Emirates. Abu Dhabi, accounts for 87 percent of the UAE's total area (67,340 km²), with an estimated population of 896,751 in 2009. Abu Dhabi generated 56.7% of the GDP

of the United Arab Emirates in 2008. The UAE is southwest Asia, boarding the Gulf of Oman and the Arabian Gulf, between Oman and Saudi Arabia. It is located along northern, approaching the Strait of Hormuz which is a central transit point for world crude oil. The UAE lies between 22°50' and 26°00' north and between 51°00' and 56°25' east. The climate in the UAE is hot and humid in the summer time, moderate with slight raining in the winter. The average temperature in the coastal site of Abu Dhabi Emirates is 43°C between May and September, and 14°C between October and April.

2. Material and Methods

2.1 Sampling and Analysis

2.1.1 Sampling. 57 beach sediment were collected from the study area (Fig. 1). Sampling was manually conducted from the coastal sites under the condition (10-15 cm in length and 5.5 cm in diameter). Handling the soil samples followed the 1981 EPA/CE-81-1 protocol [15]. The collected samples were taken in polyethylene bags and transported in sample container 3-4 hours after collection for various analyses.

Sample analyses were run out by the Acme Labs, Canada, and Central analytical Facilities, Stellenbosch University, South Africa.

2.1.2 XRF Analysis. Samples are crushed into a fine powder (particle size <70 µm) with a jaw crusher and milled in a tungstencarbide Zibb mill prior to the preparation of a fused disc for major and trace elements analysis. The jaw crusher and mill are cleaned with clean uncontaminated quartz between 2 samples to avoid cross contamination. Glass disks were prepared for XRF analysis using 10 g of high purity trace element and Rare Earth Element-free flux (LiBO₂ = 32.83%, Li₂B₄O₇ = 66.67%, LiI = 0.50%) mixed with 1 g of the powder sample. Whole-rock major element compositions were determined by XRF spectrometry on a PANalytical Axios Wavelength Dispersive spectrometer at the Central of Analytical Facilities, Stellenbosch University, South Africa. The spectrometer is fitted with an Rh tube and with the following analyzing crystals: LIF200, LIF220, PE 002, Ge 111 and PX1.

The instrument is fitted with a gas-flow proportional counter and a scintillation detector. The gas-flow proportional counter uses a 90% Argon-10% methane mixture of gas. Major elements were analyzed on a fused glass disk at 50 kV and 50 mA tube operating conditions. Matrix effects in the samples were corrected for by applying theoretical alpha factors and measured line overlap factors to the raw intensities measured with the SuperQP Analytical software. The concentration of the control standards that were used in the calibration procedures for major element analyses fit the range of concentration of the samples. Amongst these standards were NIM-G (Granite from the Council for Mineral Technology, South Africa) and BE-N (Basalt from the International Working Group).

2.1.3 Inductively Coupled Plasma (ICP) Analyses.

Samples were prepared by digestion with a modified Aqua Regia solution of equal parts concentrated HCl, HNO₃, and DI H₂O, for one hour in a heating block of hot water bath. Samples were made up to volume with dilute HCl, then sample splits of 0.5 g, 15 g or 30 g were analyzed (Geochemical Aqua Regia Digestion). In addition (Lithochemical whole Rock Fusion) was applied to prepare sample by mixing with LiBO₂/LiB₂O₇ flux crucible are fused in a furnace, the cooled bead is dissolved in ACS grade nitric acid. Loss on ignition is determined by igniting a sample split then measuring the weight loss, total carbon and sulphur are determined by leco method (Group 2A). Sample analyses were run out by the Acme Labs, Canada.

Results and discussion.

Univariate statistics. The mean, standard deviation, minimum, maximum, values generated from the analysis of the 57 beach sand samples are presented in Table 1. Major elements are dominated by CaO and SiO₂ ranging between 22.81 to 50.97 and 2.66 to 48.35 in wt.%, respectively. The trace elements are dominated by Sr and Cr ranging between 560.90 to 7243.60 and 0.001 to 0.11%, respectively. The standard deviation of the beach sand geochemical composition showed that the sand in the beach area is not uniform. The variation could be attributed to difference in their sources.

Table 1

Beach sand samples from Abu Dhabi geochemical descriptive statistics

Variable	Mean	St.deviation	Minimum	Maximum
Al ₂ O ₃	2.23	1.09	0.36	4.42
CaO	36.97	7.31	22.81	50.97
Fe ₂ O ₃	0.89	0.42	0.22	2.15
K ₂ O	0.43	0.20	0.09	0.93
MgO	2.64	1.31	0.80	6.92
MnO	0.02	0.01	0.001	0.03
Na ₂ O	1.43	0.88	0.32	4.90
P ₂ O ₅	0.05	0.01	0.03	0.09
SiO ₂	21.23	11.09	2.66	48.36
TiO ₂	0.13	0.06	0.03	0.27
L.O.I.	33.42	6.24	21.44	44.80
As	2.85	0.78	1.40	5.10
Ba	140.12	58.34	28.00	396.00
Co	4.31	2.05	0.40	12.90
Cr	272.48	182.17	0.001	752.62
Cu	4.04	1.72	1.80	13.50
Nb	2.99	1.20	0.70	6.10
Ni	29.94	22.80	3.50	118.20
Pb	2.26	1.56	0.90	10.40
Rb	14.88	5.13	3.00	24.20
Sr	2434.02	1563.41	560.90	7243.60
Th	1.37	0.50	0.20	2.50
U	2.34	0.84	1.30	4.60
V	29.05	9.53	9.00	47.00
Zn	9.00	5.79	2.00	35.00
Zr	91.14	61.86	11.60	300.10

Between the major elements significant positive correlation with Al_2O_3 was found for K_2O (0.93), MnO (0.90), SiO_2 (0.87) and TiO_2 (0.90), and significant negatively correlated with CaO (-0.88) and LOI (-0.88). CaO has significant negative correlation with all major elements and significant positive correlation LOI .

Significant correlation was found among heavy metals, especially Ni/Co ($r=0.76$), Co/Th ($r=0.61$), Pb/Zn ($r=0.52$), Cu/Zn ($r=0.65$), Ni/Zn ($r=0.66$), Th/V ($r=0.84$), Nb/V ($r=0.81$). Cr_2O_3 is mostly positively correlated with Fe_2O_3 , MgO , Co , Nb , V , and Zr , indicating possible heavy mineral minerals and weathering of chromite enriched rocks (Table 2).

Table 2

Correlation coefficient matrix of different geochemical variables for the beach sands of Abu Dhabi

	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI	As	Ba	Co	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	U	V	Zn	Zr	
Zr																										1	
Zn																									1	0.10	
V																								1	0.23	0.55	
U																							1	-0.40	-0.35*	-0.22	
Th																						1	-0.44	0.84	0.29*	0.57	
Sr																						1	-0.72	0.60	-0.70	-0.22	-0.36*
Rb																					1	-0.86	0.74	-0.64	0.73	0.31*	0.34*
Pb																				1	0.10	-0.11	0.10	-0.20	0.02	0.52**	0.21
Ni																			1	0.42	0.29*	-0.18	0.17	-0.30*	0.23	0.66	0.03
Nb																		1	0.10	0.06	0.69	-0.68	0.81	-0.42	0.81	0.17	0.72
Cu																1	0.23	0.58	0.29*	0.37*	-0.28*	0.32*	-0.27*	0.31*	0.65	0.04	
Co															1	0.42	0.58	0.76	0.33*	0.59	-0.49	0.61	-0.47	0.64	0.47	0.44	
Ba														1	0.52	0.29*	0.56	0.28*	0.12	0.82	-0.68	0.59	-0.59	0.53	0.31*	0.29*	
As													1	-0.27*	-0.22	-0.09	-0.09	-0.18	-0.18	-0.19	0.20	-0.01	0.36*	0.01	-0.17	-0.12	
LOI												1	0.23	-0.72	-0.46	-0.35	-0.59	-0.21	-0.07	-0.81	0.71	-0.61	0.53	-0.58	0.08	0.50	
TiO ₂											1	-0.78	-0.03	0.63	0.44	0.17	0.78	-0.04	-0.08	0.71	-0.71	0.80	-0.37	0.72	0.08	0.50	
SiO ₂										1	0.76	-0.96	-0.19	0.71	0.38	0.31*	0.55	0.17	0.02	0.80	-0.71	0.57	-0.54	0.54	0.26	0.28*	
P ₂ O ₅									1	0.12	0.33*	-0.16	-0.30*	0.19	0.02	-0.02	0.27*	-0.26	0.03	0.16	-0.14	0.31*	-0.09	0.23	-0.03	0.22	
Na ₂ O								1	-0.12	-0.01	0.10	0.10	0.27*	-0.02	-0.17	-0.12	-0.05	-0.22	-0.24	-0.04	0.05	0.003	0.22	0.06	-0.20	-0.16	
MnO							1	0.07	0.19	0.76	0.84	-0.81	-0.09	0.62	0.48	0.24	0.61	0.11	-0.03	0.69	0.60	0.65	-0.31*	0.61	0.19	0.28*	
MgO						1	0.54	0.01	-0.17	0.28*	0.26	-0.36	-0.07	0.28*	0.55	0.36	0.28*	0.50	0.24	0.28*	-0.19	0.20	-0.02	0.26	0.41	0.14	
K ₂ O					1	0.19	0.78	0.22	0.16	0.94	0.82	-0.90	-0.08	0.70	0.31*	0.26	0.54	0.06	-0.06	0.80	-0.70	0.62	-0.46	0.57	0.19	0.22	
Fe ₂ O ₃				1	0.56	0.82	0.82	-0.09	0.03	0.66	0.63	-0.72	-0.14	0.70	0.31*	0.26	0.54	0.06	-0.06	0.80	-0.70	0.62	-0.46	0.54	0.19	0.22	
Cr ₂ O ₃			1	0.72	0.26	0.59	0.48	-0.27*	0.07	0.44	0.48	-0.50	-0.23	0.35	0.65	0.21	0.58	0.39	0.41	0.38	-0.39	0.43	-0.30*	0.47	0.22	0.65	
CaO		1	-0.46	-0.74	-0.93	-0.47	-0.81	-0.20	-0.07	-0.94	-0.78	0.92	0.10	-0.71	-0.46	-0.38	-0.55	-0.26	-0.03	-0.78	0.66	-0.59	0.44	-0.58	-0.32*	-0.26	
Al ₂ O ₃	1	-0.88	0.31*	0.67	0.93	0.30*	0.90	0.16	0.23	0.87	0.90	-0.88	-0.05	0.69	0.37	0.27*	0.63	0.03	-0.09	0.78	-0.71	0.70	-0.39	0.65	0.16	0.22	

CaO is positively correlated with LOI , Sr , U and As , while it is negatively correlated almost all the major, minor and trace elements, thus pointing that strontium, uranium and arsenic originate from the sea and not from the continent.

The combination of cluster and discriminant analysis was used in order to classify and characterise beach sand into geochemically homogenous groups. Cluster analysis was used to classify the beach sand, while discriminant analysis was used to characterise and differentiate the groups created through cluster analysis.

Cluster analysis (CA) was used to group the similar sampling sites (spatial variability) and to identify areas of similar geochemical composition or contamination [5, 6, 16, 18, 19, 20].

Hierarchical agglomerative cluster analysis was performed on major rock-forming elements using Ward's method with Euclidean distances as a measure of similarity. The results was presented as a dendrogram (Fig. 2) where all fifty-seven beach sand samples were grouped into four groups.

To geochemically characterise and differentiate the four beach sand groups created through hierarchical cluster

analysis a linear discriminant analysis techniques was used. The maximum number of discriminant functions is either one less than the number of groups or equal to the number of the predictor variables. A three-group discriminant function was computed using the major rock-forming elements (Table 3 and 4).

As for the interpretation the combination Tables 3 and 4 were used to pinpoint geochemical elements that characterise each of the beach sand type. Function one, highly positive correlated with SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 and TiO_2 and negatively correlated with LOI and CaO , separated terrigenous from biogenic marine beach sand. Beach sand 4 and 1 are characterised by high SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 and TiO_2 indicating a terrigenous source, while beach sand 2 and 3 are enriched with LOI and CaO , identifying biogenic marine carbonate. Function two highly positively correlated with Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO and MnO , categorize sand type four for an ophiolite source for this sand type differentiate it from sand type two as silico-feldspathic group. Function three separate sand type three from the other three sand type as halite.

Table 3

Three discriminant group function Structure Matrix

	Function		
	1	2	3
SiO_2	.747*	.426	-.066
L.O.I	-.671*	-.102	.625
CaO	-.552*	-.038	-.044
K_2O	.492	.342	.158
Al_2O_3	.405	-.054	.038
TiO_2	.279	-.218	.145
Fe_2O_3	.291	-.648*	-.039
Cr_2O_3	.139	-.493	-.109
MgO	.100	-.457*	-.027
MnO	.302	-.306*	.057
P_2O_5	.010	.004	-.417*
Na_2O	.004	.162	.397*

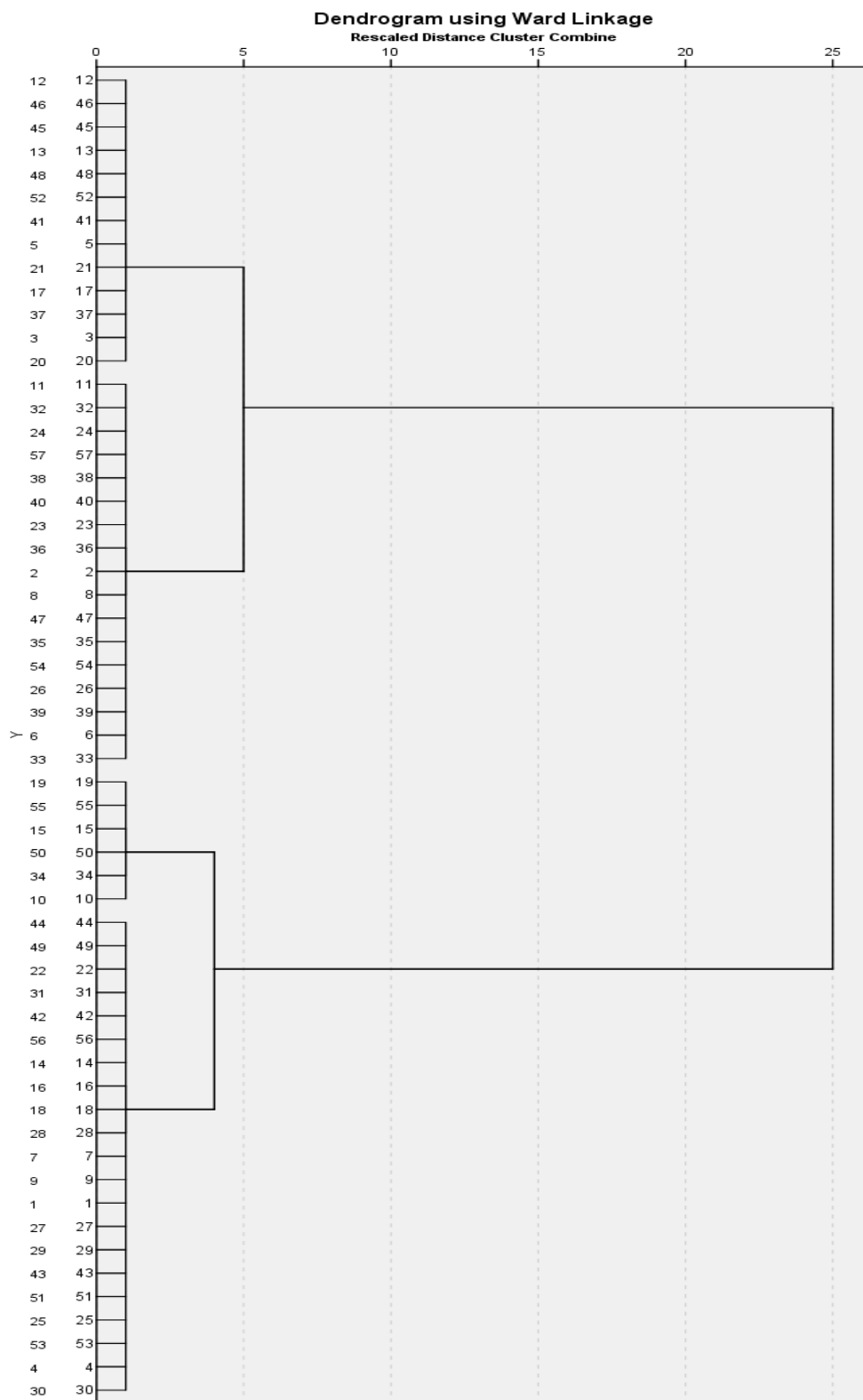


Fig. 2. Dendrogram showing cluster result for the beach sand of Abu Dhabi, United Arab Emirates

Table 4

Beach sand types	Function at group centroid Functions at Group Centroids			Name of the Sample
	1	2	3	
1	3.184	-.807	-.227	1, 4, 7, 9, 14, 16, 18, 22, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 42, 43, 44, 49, 51, 53 and 56
2	-6.065	.406	-.321	2, 6, 11, 23, 24, 26, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 54 and 57
3	-1.189	-.123	.661	3, 5, 8, 12, 13, 17, 20, 21, 37, 41, 45, 46, 47, 48 and 52
4	6.991	2.115	-.053	10, 15, 19, 34, 50 and 55

The Table 5 provides element concentrations for the different sand types.

Beach sand groups classified through cluster analysis are correctly by 100%. Fig. 3 below is a discriminant plot representing the first two discriminant functions for the beach sand of Abu Dhabi. Unstandardized canonical discriminant functions evaluated at group means.

Since the direct discriminant function method does not show the importance of the individual geochemical variables

for the description of classified groups, or their importance in the classification itself, a stepwise discriminant method should be considered [17]. In this method variables are selected through a statistical test to determine the order in which they are entered or removed into the analysis. At each step the element which yielded the best classification was entered.

In this SiO_2 and Fe_2O_3 were the best discriminating geochemical variables, separating the four beach sand up to 100% as shown Fig. 4

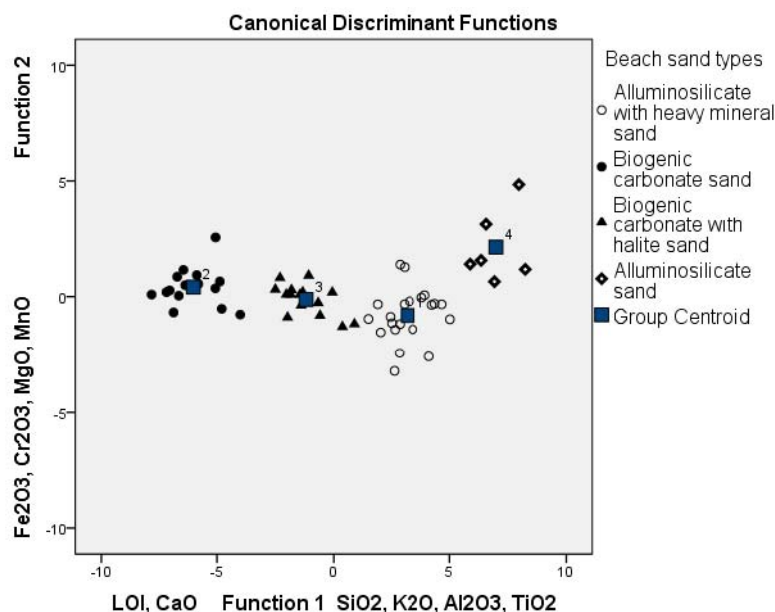
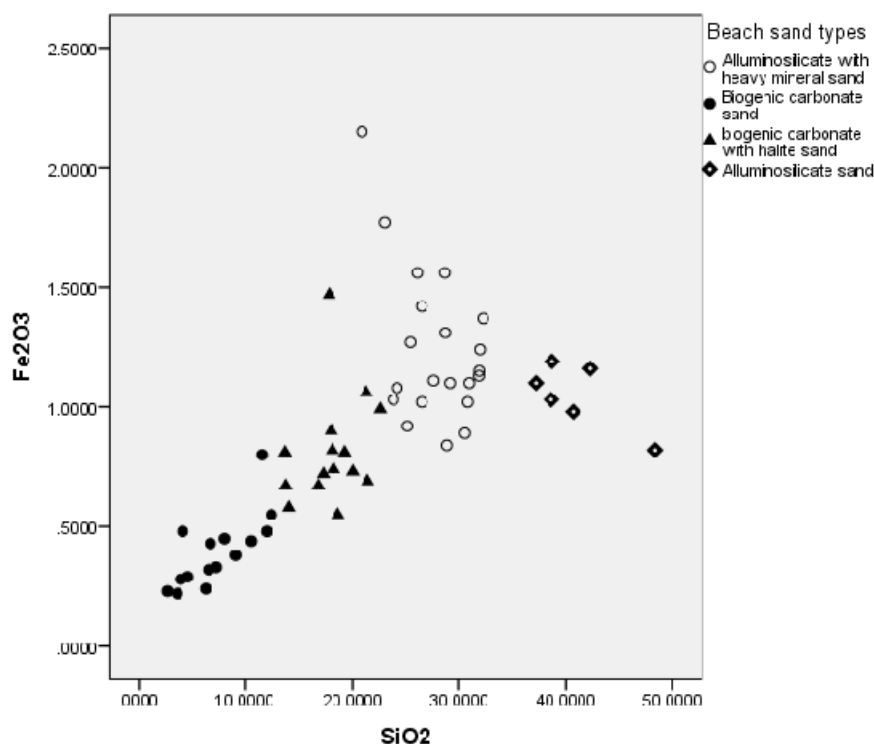


Fig. 3. Two-function discriminant plot showing the abundance of elements in each beach sand type

Table 5

The element concentrations for the different sand types .

	silico-feldspathic sand with heavy minerals (1)	Biogenic marine Carbonate sand (2)	Biogenic marine Carbonate with Halite sand (3)	silico-feldspathic sand (4)
Al_2O_3	2.94	0.90	1.99	3.68
CaO	32.16	46.18	38.74	25.94
Cr_2O_3	0.06	0.02	0.04	0.04
Fe_2O_3	1.24	0.41	0.81	1.05
K_2O	0.53	0.19	0.38	0.78
MgO	3.43	1.79	2.55	2.33
MnO	0.02	0.004	0.01	0.03
Na_2O	1.25	1.40	1.64	1.74
P_2O_5	0.05	0.05	0.05	0.05
SiO_2	27.84	7.33	18.06	40.98
TiO_2	0.17	0.07	0.12	0.18
L.O.I	29.02	41.08	35.87	23.52
Ba	163.57	86.64	132.60	220.33
Co	5.70	3.11	3.79	4.22
Nb	3.63	1.95	2.98	3.57
Rb	17.71	9.44	14.35	20.95
Sr	1621.29	3967.18	2449.83	924.80
Th	1.64	0.97	1.33	1.60
U	2.04	3.01	2.44	1.55
V	34.95	21.93	28.00	31.00
Zr	105.93	70.46	88.67	107.00
Y	7.65	4.28	6.47	7.62
Mo	0.94	0.87	0.82	0.50
Cu	4.92	3.35	3.62	3.97
Pb	2.80	2.27	1.69	1.97
Zn	10.91	6.93	8.40	9.50
Ni	39.20	24.29	25.17	27.03
As	2.74	2.99	3.11	2.45

Fig. 4. Scatterplot of SiO_2 and Fe_2O_3

Conclusion. The determination of beach sand type of Abu Dhabi using combination of cluster and discriminant analysis shows that the beach sands are from either terrigenous or marine sources as indicated by dendrogram produced cluster analysis. Each of the two sand types can be further classified into two. Linear discriminant analysis was used to geochemically characterise each of the four sand types. The terrigenous sand can be subdivided into allumino-silicate characterised by SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O and TiO_2 and heavy mineral-rich allumino-silicate with high content of Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO and MnO . The biogenic marine beach sand can be subdivided into carbonate-rich identified with their high content of CaO and LOI , and halite-rich marine sand with high content of Na_2O .

Through stepwise discriminant analysis it was possible to identify that SiO_2 and Fe_2O_3 are best discriminating geochemical variables up to 100%. A scatterplot of these two variables was also produced.

References

1. Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales-de la Garza, E.A., Lozano-Santa, R. (2009). Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Rev. mex.cienc. geol.* (Vol. 26, no. 2). México.
2. Carranza-Edwards, A. (2001). Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal of Coastal Research*, 17(1), 38-52.
3. Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. (1995). Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32(12), 2009-2014. doi:10.1139/e95-153
4. Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Santiago-Pérez, S. (1994). Provenance memories and maturity of holocene sands in Northwest Mexico: Canadian. *Journal of Earth Science*, 31(10), 1550-1556.
5. Casado-Martínez, M.C., Forja, J.M., DelValls, T.A. (2009). A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1353-1359.
6. Chung, C.Y., Chen, J.J., Lee, C.G., Chiu, C.Y., Lai, W.L. et al. (2011). Integrated estuary management for diffused sediment pollution in Dapeng Bay and neighboring rivers (Taiwan). *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 499-517.
7. Folk, R.L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. (182 pp.). Austin, Texas, Hemphill Publishing Co.
8. Ibbeken, H., Schleyer, R. (1991). *Source and Sediment*. (286 pp.). Berlin, Springer-Verlag.
9. Lugo-Hubp, J., Vidal-Zepeda, R., Fernández-Eguarte, A., Gallegos-García, A., Zavala-Hidalgo, J. (1990). Hipsometría y batimetría, Hoja I.1.1, escala 1:4,000,000. In *Atlas Nacional de México*. (Tomo I). 1. Mapas

Generales: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1 map.

10. Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A. (2005). Grain size discrimination between sands of desert.

11. Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. (1999). Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of México: implications of provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 69(5), 1003-1010.

12. Klitgord, K.D., Mammerrickx, J. (1982). Northern East Pacific Rise: magnetic anomaly and bathymetric framework. *Journal of Geophysical Research*, 87(B8), 6725-6750.

13. Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. (429 pp.). New Jersey, Prentice-Hall.

14. Le Pera, E., Critelli, S. (1997). Source-land controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: implications for actualistic petrofacies. *Journal of Sedimentary Research*, 110(1-2), 81-97.

15. Plumb, R.H. (1981). *Procedures for Handling and Chemical Analysis of Sediment and Water Samples*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

16. Rath, P., Panda, U.C., Bhatta, D., Sahu, K.C. (2009). Use of sequential leaching, mineralogy, morphology and multivariate statistical technique for quantifying metal pollution in highly polluted aquatic sediments—a case study: Brahmani and Nandira Rivers, India. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 632-644.

17. Siad, A.M., Matheis, G., Utke, A., & Burger, H. (1994). Discriminant analysis as a geochemical mapping technique for lateritic covered areas of Southwestern and Central Nigeria. *ITC Journal*, (1), 7-12.

18. Simeonov, V., Massart, D.L., Andreev, G., Tsakovski, S. (2000). Assessment of metal pollution based on multivariate statistical modeling of hot spot sediments from the Black Sea. *Chemosphere*, 41, 1411-1417.

19. Sundaray, S.K., Nayak, B.B., Lin, S., Bhatta, D. (2011). Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments—a case study: Mahanadi basin, India. *Journal of Hazardous Materials*, 186, 1837-1846.

20. Yang, Z., Wang, Y., Shen, Z., Niu, J., Tang, Z. (2009). Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 1186-1194.

Список використаних джерел

1. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific / A. Carranza-Edwards, J. J. Kasper-Zubillaga, L. Rosales-Hoz et al. // *Rev. mex.cienc. geol.* – México, 2009. – Vol. 26, no. 2.
2. Carranza-Edwards A. Grain size and sorting in modern beach sands / A. Carranza-Edwards // *Journal of Coastal Research*. – 2001. – Vol. 17(1). – P. 38-52.
3. Carranza-Edwards, A. Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands / A. Carranza-Edwards, L. Rosales-Hoz // *Canadian Journal of Earth Sciences*. – 1995. – Vol. 32(12). – P. 2009-2014. – doi:10.1139/e95-153.

4. Carranza-Edwards A. Provenance memories and maturity of holocene sands in Northwest Mexico / A. Carranza-Edwards, L. Rosales-Hoz, S. Santiago-Pérez // Canadian. Journal of. Earth Science. – 1994. – Vol. 31(10). – P. 1550-1556.

5. Casado-Martínez M. C. A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports / M. C. Casado-Martínez, J. M. Forja, T. A. DelValls // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 163. – P. 1353–1359.

6. Integrated estuary management for diffused sediment pollution in Dapeng Bay and neighboring rivers (Taiwan) / C. Y. Chung, J. J. Chen, C. G. Lee et al. // Environmental Monitoring and Assessment. – 2011. – Vol. 173. – P. 499–517.

7. Folk R. L. Petrology of Sedimentary Rocks / R. L. Folk. – Austin, Texas: Hemphill Publishing Co, 1974. – 182 p.

8. Ibbeken H., Schleyer R. Source and Sediment / H. Ibbeken, R. Schleyer. – Berlin: Springer-Verlag, 1991. – 286 p.

9. Hipsometría y batimetría. Hoja 1.1.1, escala 1:4,000,000 [Cartographic material] / J. Lugo-Hubp, R. Vidal-Zepeda, A. Fernández-Eguarte et al. // Atlas Nacional de México. Tomo I : 1. Mapas Generales. – México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1990. – 1 map.

10. Kasper-Zubillaga J. J. Grain size discrimination between sands of desert / J. J. Kasper-Zubillaga, A. Carranza Edwards. – 2005.

11. Kasper-Zubillaga J.J. Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of México: implications of provenance and tectonic setting / J. J. Kasper-Zubillaga, A. Carranza-Edwards, L. Rosales-Hoz // Journal of Sedimentary Research. – 1999. – Vol. 69(5). – P. 1003-1010.

12. Klitgord, K.D. Northern East Pacific Rise: magnetic anomaly and bathymetric framework / K. D. Klitgord, J. Mammereckx // Journal of Geophysical Research. – 1982. – Vol. 87(B8). – P. 6725-6750.

13. Komar P. D. Beach Processes and Sedimentation / P. D. Komar. – New Jersey: Prentice-Hall, 1976. – 429 p.

14. Le Pera E. Source-land controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: implications for actualistic petrofacies / E. Le Pera, S. Critelli // Journal of Sedimentary Research. – 1997. – Vol. 110(1-2). – P. 81-97.

15. Plumb R. H., Procedures for Handling and Chemical Analysis of Sediment and Water Samples / R. H. Plumb. – U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1981.

16. Use of sequential leaching, mineralogy, morphology and multivariate statistical technique for quantifying metal pollution in highly polluted aquatic sediments — a case study: Brahmani and Nandira Rivers, India / P. Rath, U. C. Panda, D. Bhatta, K. C. Sahu // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 163. – P. 632–644.

17. Discriminant analysis as a geochemical mapping technique for lateritic covered areas of Southwestern and Central Nigeria / A. M. Siad, G. Matheis, A. Utke, H. Burger // ITC Journal. – 1994. – No. 1. – P. 7-12.

18. Assessment of metal pollution based on multivariate statistical modeling of hot spot sediments from the Black Sea / V. Simeonov, D. L. Massart, G. Andreev, S. Tsakovski // Chemosphere. – 2000. – Vol. 41. – P. 1411–1417.

19. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments — a case study: Mahanadi basin, India / S. K. Sundaray, B. B. Nayak, S. Lin, D. Bhatta // Journal of Hazardous Materials. – 2011. – Vol. 186. – P. 1837–1846.

20. Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China / Z. Yang, Y. Wang, Z. Shen et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 166. – P. 1186–1194.

Надійшла до редколегії 27.11.15

Саєд Аль Рашиді
Абді Сіад
E-mail: Saeed-2262@hotmail.com
Департамент Наук про Землю
Університет Західний Кейп
м. Кейптаун, ПАР

ГЕОХІМІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛЯЖНИХ ПІСКІВ АБУ ДАБІ, ОБ'ЄДНАНІ АРАБСЬКІ ЕМІРАТИ: ПОЄДНАННЯ КЛАСТЕРНОГО ТА ДИСКРИМІНАНТНОГО АНАЛІЗІВ

Стаття присвячена аналізу хімічного складу піску на пляжах Абу-Дабі. В процесі роботи п'ятдесят сім зразків із піщаних пляжів було відібрано вздовж берегової лінії Абу-Дабі, Об'єднані Арабські Емірати (ОАЕ). Їхній геохімічний склад було визначено із використанням рентгенівського флуоресцентного аналізу. Поєднання кластерного та дискримінантного аналізів було застосовано для класифікації та визначення характерних ознак піщаних пляжів. Кластерний аналіз проведено з використанням дендрограм, визначено два основні типи піщаних пляжів, а саме з терригенним і морським піском. Кожен тип піску було додатково поділено на два класи й охарактеризовано через дискримінанти. Терригенний тип піску поділено на алюмосилікат, який характеризується вмістом SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O і TiO_2 , і важкий пісок, багатий на мінерали силікату з високим вмістом Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO і MnO . Морський тип піску поділяється на біогенно-морський карбонатний з високим вмістом CaO і LOI , а також пісок, багатий на біогенні морські карбонати з Na_2O , на додачу до CaO і LOI . За допомогою ступінчастого дискримінантного аналізу визначено, що SiO_2 і Fe_2O_3 є основними геохімічними змінними для класифікації чотирьох типів піску.

Ключові слова: пляжні піски, узбережжя, геохімічний склад, рентгенівський аналіз

Сайед Аль Рашиді
Абді Сіад
E-mail: Saeed-2262@hotmail.com
Департамент наук о Земле
Університет Західний Кейп
г. Кейптаун, ЮАР

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛЯЖНОГО ПЕСКА АБУ ДАБИ, ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ: СОЧЕТАНИЕ КЛАСТЕРНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

Статья посвящена анализу химического состава песка на пляжах Абу-Дабі. В процессе работы пятьдесят семь образцов были отобраны с песчаных пляжей вдоль береговой линии Абу-Дабі, Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ). Их геохимический состав был определен с использованием рентгеновского флуоресцентного анализа. Сочетание кластерного и дискриминантного анализа было применено для классификации и определения характерных черт песчаных пляжей. Кластерный анализ проведен с использованием дендрограмм, определены два основных типа песчаных пляжей, а именно с терригенным и морским песком. Каждый тип песка был дополнительно подразделен на два класса и охарактеризован посредством дискриминанты. Терригенный тип песка подразделяется на алюмосиликат, который характеризуется содержанием SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и TiO_2 , и тяжелый песок, богатый силикатными минералами с высоким содержанием Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO и MnO . Морской тип песка подразделяется на биогенно-морской карбонатный с высоким содержанием CaO и LOI , а также песок, богатый биогенными морскими карбонатами с Na_2O , дополнительно к CaO и LOI . С помощью ступенчатого дискриминантного анализа определено, что SiO_2 и Fe_2O_3 являются основными геохимическими переменными для классификации четырех типов песка.

Ключевые слова: пляжные пески, побережье, геохимический состав, рентгеновский анализ.

УДК 549.08:552.5

М. Бєлицька, мол. наук. співроб.
Державна наукова установа
"Відділення морської геології і осадового рудоутворення" НАН України
вул. Мусоргського, 7/10, м. Кривий Ріг, 50096, Україна
E-mail: belitska-mv@i.ua

МІНЕРАЛИ-ІНДИКАТОРИ УМОВ СУЧАСНОГО РІЧКОВОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗУ

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

Вивчено мінеральний склад, будову та технологічні властивості сучасного алювію річок Центральної та Південної України: Дніпра, Південного Бугу, Інгулу, Інгульця та їхніх приток. Досліджений алювій містить широкий спектр уламків: від брил та валунів у верхів'ях до пелітоморфного мулу в старицях та дельтових ділянках річок. Переважають псамітові та алеврито-псамітові різновиди осаду з кварцом та іншими силікатами, карбонатами, різноманітними оксидами, рідше сульфідами, сульфатами, самородними елементами. В гирлових ділянках річок виявлено підвищені концентрації альмандину, ільменіту, циркону, монациту, меншою мірою, апатиту, рутилу, золота та інших. Окрема група мінералів осаду утворює мікросфероліти, ідіоморфні кристали, пухкі агрегати голчастих кристалів мікроскопічних розмірів. Такими є барит, гетит, пірит, гіпс, карбонати. У їх утворенні беруть участь процеси хемогенного осадження, заміщення, біомінералогії. Встановлено ділянки забруднення алювію відходами промислових підприємств, розміщених на водозбірній площі річок. З них до річкового алювію надходять продукти діяльності гірничо-металургійних, машинобудівних, хімічних та інших виробництв. У окремих ділянках річища відбулося збагачення алювію техногенними мінералами, а їх концентрація вже досягла рівня бідних руд. З території населених пунктів та підприємств до поверхневих водойм потрапляють також нафтопродукти, змішані з піском, глиною, чорноземом тощо. Перенесення їх відбувається системою ярів і балок, що впадають до річкової мережі і є найбільш забрудненими елементами сучасного геологічного середовища. Таким чином, річкова седиментаційна диференціація та діяльність промислових підприємств є факторами сучасного річкового рудоутворення. Внаслідок промислового виробництва та урбанізації водозбірної площі відбулися докорінні зміни природного стану річок, а поширені в її алювії мінеральні парагенезиси та асоціації стали чутливими індикаторами стану екосистеми. Виконані дослідження свідчать про полігенне (природно-техногенне) формування підвищених концентрацій важких мінералів та можливість комплексного використання сучасних річкових відкладів, одночасно з поліпшенням стану довкілля. Вивчення алювію річок України дозволяє визначити генезис зруденіння, дає необхідну інформацію технологічного характеру про можливості збагачення та напрямки використання мінеральної сировини, створює умови для покращення екологічного стану сучасного геологічного середовища.

Ключові слова: алювій, мінерали-індикатори, золото, аутигенні мінерали, техногенез, техногенні компоненти, збагачення руд.

Вступ. Визначення умов утворення річкового алювію відіграють важливу роль у проведенні пошуково-розвідувальних робіт, технологічних досліджень річкових розсіпів, реконструкції клімату та геологічної історії розвитку території, а в сучасних умовах – ще й забруднення річок промисловими та сільськогосподарськими відходами [1, 8, 11-15, 17-18]. У роботах [9, 16] підкреслена індивідуальність алювію кожної річки, яку можна використовувати для визначення джерел надходження та розповсюдження річкового матеріалу в морських та океанічних басейнах. Мінералогічні індикатори умов сучасного седиментогенезу важливі для дослідження геохімічних процесів, що протікають в присутності накопиченої в річках органічної речовини в різних фаціях та ділянках вертикального алювіального розрізу [10].

Широкий спектр наукових і прикладних завдань потребує вивчення факторів і критеріїв походження алювіальних відкладів. Даний напрямок є особливо актуальним для промислово навантаженої та густо заселеної площі водозбору річок України.

Мета даної роботи – виявити реакцію річкового седиментогенезу на дію природних та антропогенних чинників сучасної геологічної епохи.

Матеріали і методи дослідження. В роботі досліджено біля ста проб сучасних заплавних і руслових відкладів річок Центральної та Південної України: Дніпра, Південного Бугу, Інгулу, Інгульця, а також їх приток. Матеріал зібраний за кілька років в експедиціях Криворізького відділу Національної академії наук України. Дослідження алювію виконано методами традиційного мінералогічного аналізу, оптичної та растрової електронної мікроскопії (РЕМ), мікрозондового аналізу (МЗА).

Результати дослідження та їх обговорення. Досліджений алювій містить широкий спектр уламків: від брил та валунів у верхів'ях до пелітоморфного мулу в старицях та дельтових ділянках річок. Переважають псамітові та алеврито-псамітові різновиди осаду. Домінують полімінеральні відклади з кварцом та іншими силікатами, карбонатами, різноманітними оксидами,

рідше сульфідами, сульфатами, самородними елементами [2]. У нижній течії річок поширені олігоміктові кварцові піски, в яких відзначається високий вміст розсіпоутворюючих мінералів (г/т): альмандину – 408552,1; ільменіту – 100033,2 (рис. 1а); монациту – 13758,7 (рис. 1б); циркону – 6458,4. У відкладах Нижнього Дніпра встановлені рудопрояви і точки мінералізації золота (рис. 1в, 1г). Округла форма мінеральних зерен свідчить про тривале транспортування і багаторазове перерізання осаду.

Розмір виділень золота звичайно не перевищує 0,1 мм, а домінують частки 0,02-0,06 мм. Форма золотин різноманітна. Зустрічаються округлі зерна, лусочки, дротинки, зігнуті, скручені часточки різноманітних обрисів з проявами пластичної деформації від зіткнення з іншими мінералами алювію. Внутрішня будова виділень золота однорідна, або представляє собою ажурний агрегат з великою кількістю пустот, частково заповнених глиною та мінералами кремнезему. Хімічний склад золота змінюється від чистого золота до електруму з близькими співвідношеннями Au і Ag.

Група мінералів алювію представлена мікросферолітами, натічними агрегатами, фромбоїдальними виділеннями, ідіоморфними кристалами, пухкими агрегатами голчастих кристалів мікроскопічних розмірів. Такими є барит, гетит, пірит, гіпс, карбонати. У їх утворенні беруть участь процеси хемогенного осадження, вторинного заміщення природних і техногенних утворень, біомінералогії (рис. 2).

Від контакту з водою до плотику алювіального розрізу в групі аутигенних мінералів заліза спостерігається закономірна зміна парагенезисів. У поверхневому шарі осаду на мілинах, перекатах, в старицях утворюються гідроокиси заліза (рис. 2б). Всередині товщі та у поверхневих шарах, але в глибоких і малопроточних ділянках річок, наприклад, водосховищах, домінує марказит (рис. 3). У нижніх, приплотикових, ділянках розрізу спостерігається перекристалізація марказиту у дрібнозернистий (<0,050 мм)

ідіоморфний пірит. У даних умовах річковий осад зберігає і пірит кластогенний, який відрізняється більшими розмірами ($>0,5$ мм) і уламковою формою зерен. Габітус аутигенного піриту кубічний, октаедричний, а в ділянках алювіального розрізу з підвищеним вмістом золота – пентагондодекаедричний.

У складі осаду досліджених річок постійно зустрічаються продукти промислового виробництва: часточки металургійних шлаків (рис. 4а), шлаків (рис. 4б), хвостів збагачення та інших відходів. На півдні Криворізького залізорудного басейну алювій річки Інгулець перетворений на рудну граувакку, більшу частину якої становлять перемиті річкою продукти діяльності гірничих і металургійних комбінатів, що містять залізо, вустит, магнетит, гематит, магеміт, гетит, металургійне скло. Їх супроводжують металевий графіт, частинки шлаків і шлаків, а також мідь, бронза, сплави свинцю і олова, вогнетривки та інші промислові матеріали [7, 11]. Нижче за течією техногенні мінерали заміщаються асоціацією вторинних оксидів і гідроксидів. Вміст за-

ліза в річковому осад знижується і він набуває природного вигляду.

Алювій Нижнього Дніпра також збагачений техногенними компонентами. Зустрічаються зерна металургійного заліза, радіотехнічного припою, бронзи та інших сплавів (рис. 4в, 4е), що походять, імовірно, з промислових підприємств Дніпропетровська, Дніпродзержинська та інших міст. З ними асоціюють ідіоморфний кубічні кристали SiO_2 , попередньо діагностовані як високотемпературний β -кristобаліт. Даний мінерал утворюється при температурах вище 1470°C [6]. Він постійно зустрічається у складі пилу і шлаків металургійних підприємств [4].

До водойм з водозбірної території з піском, глиною, ливневими стоками тощо потрапляють відходи нафтопродуктів (рис. 4г). Вони надходять з території населених пунктів, складів паливно-мастильних матеріалів, нафтопереробних, промислових, транспортних і інших підприємств. Перенесення відбувається системою ярів і балок, що впадають до річкової мережі.

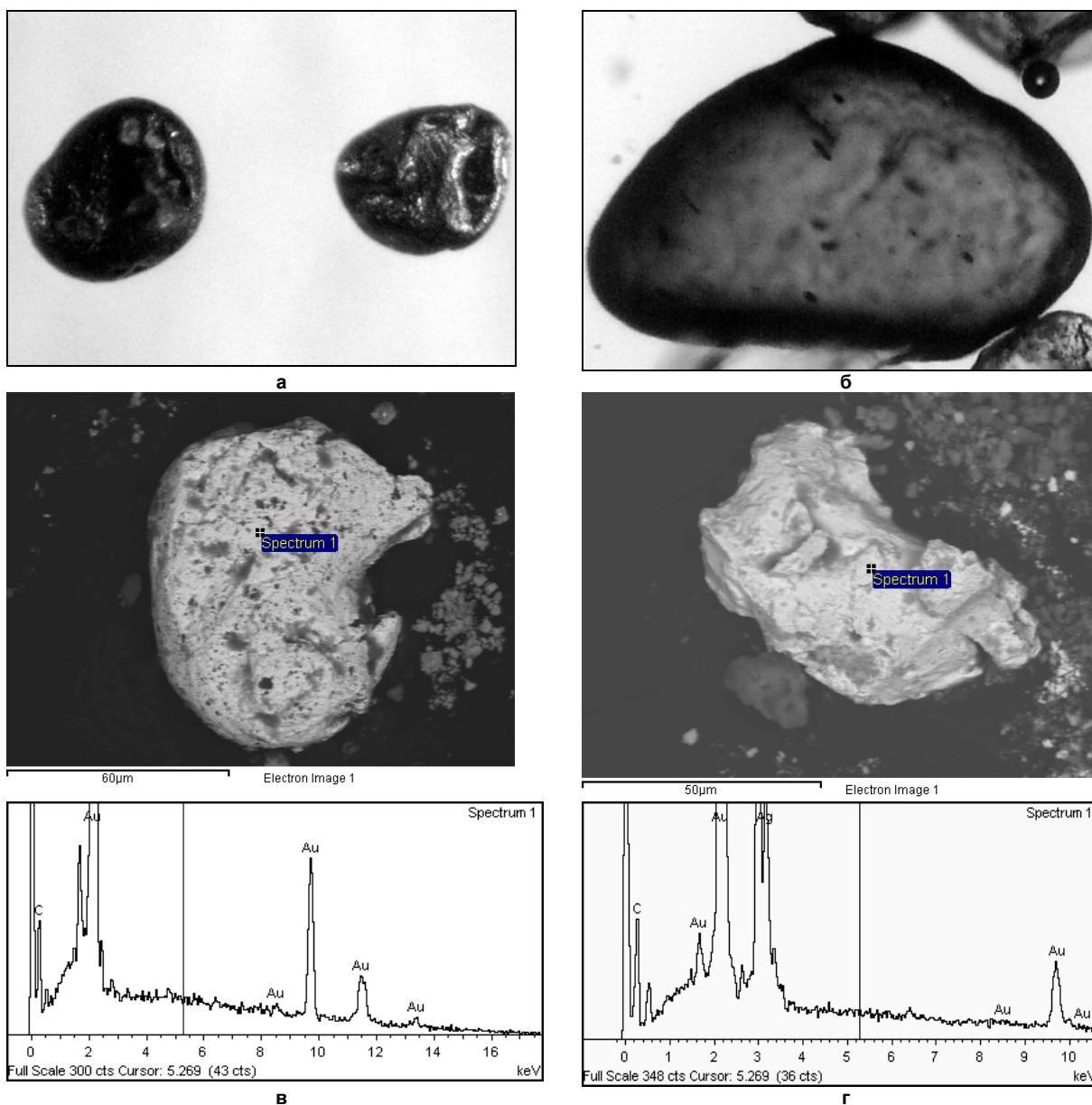
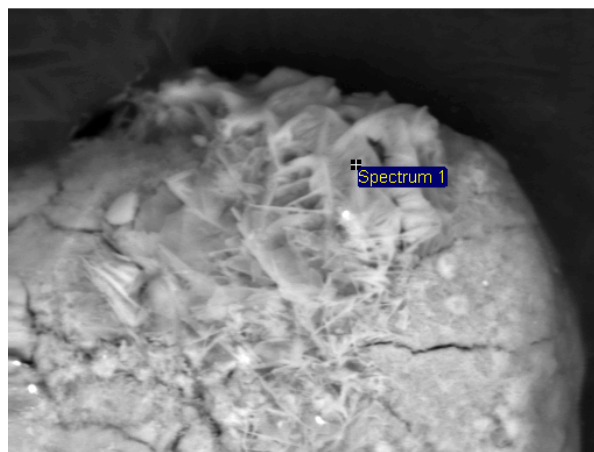
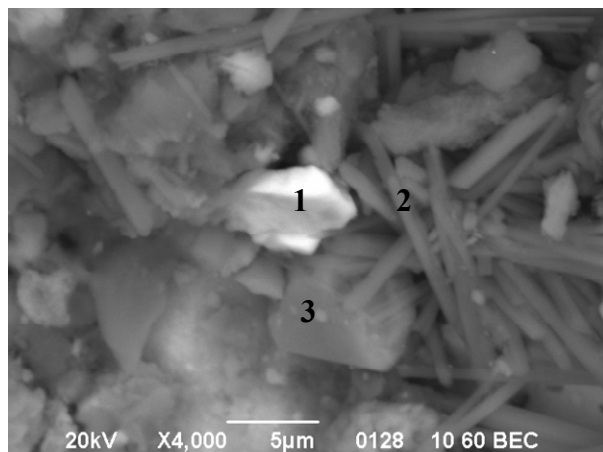


Рис. 1. Теригенні мінерали річкового алювію:

а, б – обкатані зерна ільменіту й монациту з осаду р. Інгулець; в – частково обкатане зерно золота (Au 100%), перша надзаплавна тераса Дніпра біля с. Корсунка; г – пластичнодеформована часточка срібlistого золота (Au 52,49%, Ag 47,51%), там же; а, б – бінокуляр, збільшення: а – $130\times$, б – $160\times$; в, г – PEM, МЗА



Element	1 Barite	2 Gypsum	3 Pyrite
O K	28.18	31.74	
Al K	1.14	1.17	0.44
Si K	2.76	3.92	1.27
S K	14.27	24.63	48.27
Ca K	1.01	28.30	
Fe K	4.47	10.24	49.3
Ba L	48.17		
K K			0.72
Totals	100.00	100.00	

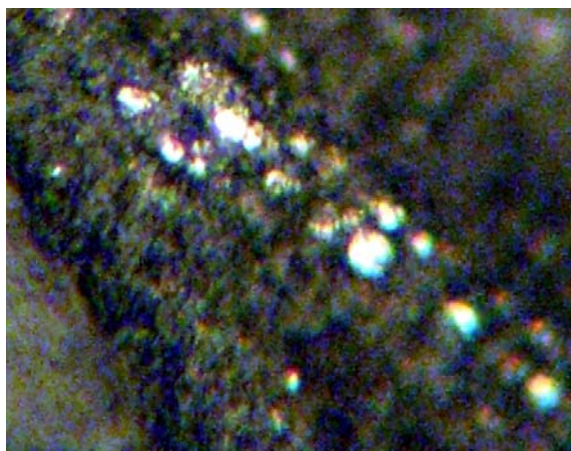
Element	Weight%	Atomic%
O K	48.33	74.94
Mg K	1.20	1.22
Al K	0.51	0.47
Si K	1.75	1.56
S K	0.61	0.47
Ca K	1.14	0.70
Fe K	46.46	20.64
Totals	100.00	

б

а

Рис. 2. Аутигенні мінерали у донному осаді р. Дніпро, с. Корсунка:

а – барит, гіпс і пірит; б – щітка лускуватих кристалів лепідокрокіту на розтрісканій гетиті PEM, МЗА



а



б

Рис. 3. Мінеральні продукти життєдіяльності анаеробних бактерій:

а – мікросфероліти марказиту (білі) в рослинних рештках (темно-сіре) пелітоморфного річкового осаду (сіре);

б – агрегати кулястих виділень марказиту, згруповані після завершення дезінтеграції річкової флори.

Свердловина у тальвезі р. Інгулець (м. Снігурівка), інт. 1,5-1,8 м; а – полірований шліф, збільшення 200^x, б – бінокуляр, збільшення 180^x

У продуктах сучасного річкового седиментогенезу співвідношення теригенних, аутигенних і техногенних компонентів у порівнянні з минулими геологічними епохами змінилося на користь аутигенних і техногенних компонентів. Це може служити одним з критеріїв кількісної оцінки масштабів техногенної зміни екосистеми. У замулених ділянках річок за участю мікроорганізмів посилюються процеси аутигенного мінералоутворення і перетворення осаду. Вони відбуваються як в аеробних (гідрооксиди заліза), так і в анаеробних (сульфіди, сульфати) умовах. Мікроскопічні розміри сприяють виносу новоутворених мінералів в лимани і відкрите море. Тому частина широко розвинених в сучасних морських осадах "аутигенних" мінералів може надходити разом з твердим стоком річок і бути теригенними. Це відноситься до дрібних ідіоморфних

кристалів і агрегатів сульфідів, сульфатів, карбонатів, гетиту, лепідокрокіту, осадових хлоритів, регенованих частинок золота та інших мінералів.

На рис. 5 зображено винесення рудних часток (мінералів заліза, титану тощо) р. Обиточна в Азовське море. З нього видно, що алювій рік другого і вищих порядків осаджується у прибережних ділянках моря, тоді як ореол великих рік простежується в океанах іноді на відстань кількох тисяч кілометрів [16]. Особливістю річок Півдня України є масштабне винесення та накопичення полігенного (природного та техногенного) матеріалу саме у пляжній фації Чорного та Азовського морів, де в останній час зростає потік туристів та відпочиваючих. Тому дослідження складу та генетичних особливостей алювію річок України набуває ще й важливого екологічного значення.

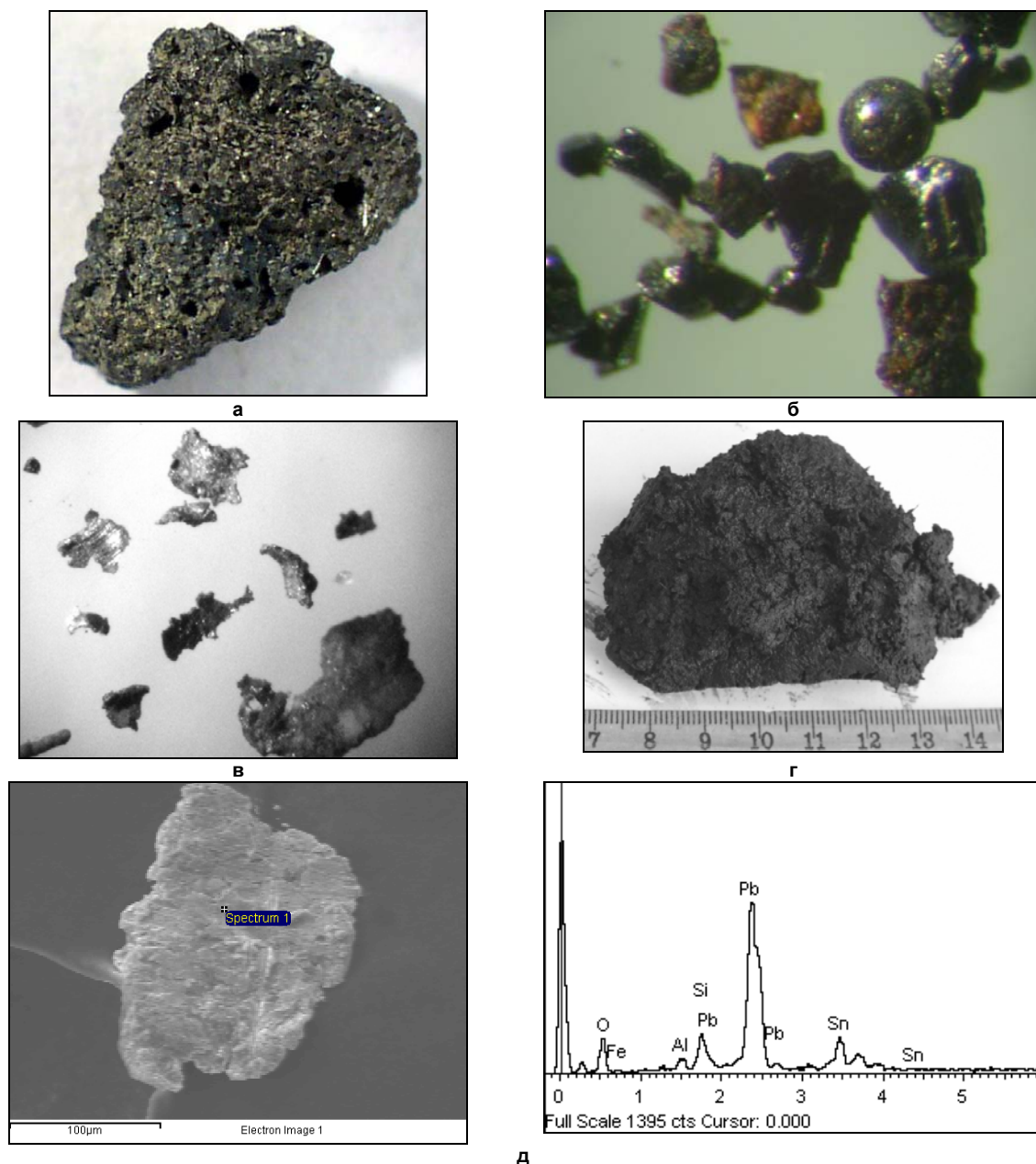


Рис. 4. Техногенні компоненти річкового осаду:

а – частково обкатане пористе зерно металургійного шлаку, р. Інгулець, збільшення $2\times$; б – магнетит, гематит, гетит і кулька металургійного шлаку, р. Інгуль, с. Розанівка; в, д – пластинки радіотехнічного Sn-Pb сплаву, р. Дніпро, РЕМ, МЗА; г – донний осад, насичений відходами паливно-мастильних матеріалів, м. Кривий Пір, балка Червона у лівому березі р. Інгулець

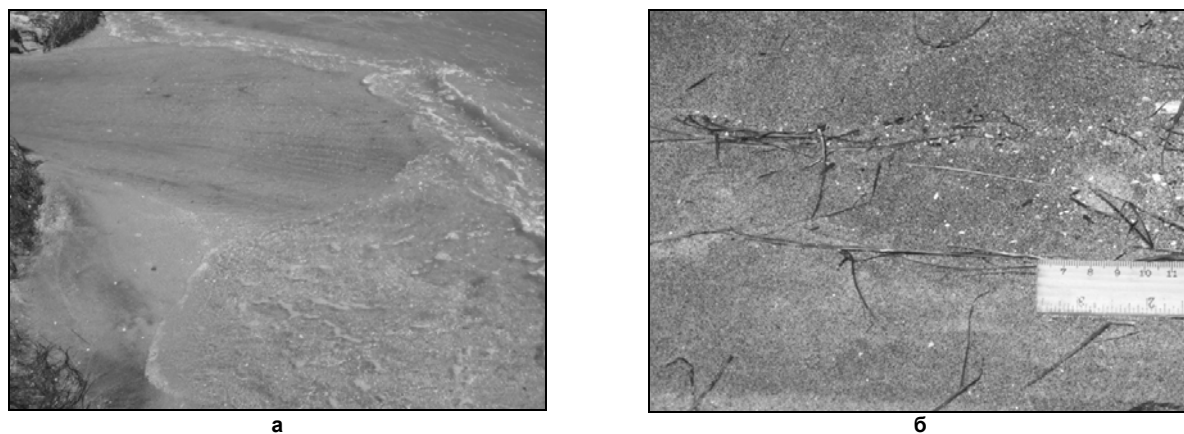


Рис. 5. Сучасне розсіпоутворення в системі річка-море:

а – струменеві потоки рудних мінералів у конусі виносу одного з рукавів у дельті р. Обиточна (верхня частина фото), та перевідкладення їх в результаті хвильової діяльності на пляжі Азовського моря (внизу зліва); б – "чорні піски" Азовського моря, м. Приморське

Висновки. Аналіз асоціацій важких мінералів алювію досліджених річок свідчить про походження їх з різноманітних магматичних, метаморфічних (у тому числі, метасоматично та гідротермально змінених) і осадових комплексів, поширених на водозбірній території. Майже половина України, окремі області Білорусії та Російської Федерації з численними родовищами корисних копалин є донорами цінних мінералів в осадах вивченої річкової мережі. Вказане свідчить про важливе пошукове значення досліджень алювію річок України.

Варіативність складу та значні зміни золота у відкладах Нижнього Дніпра можуть бути пов'язаними з процесами седиментації та перетворення річкового осаду, в тому числі під впливом мікроорганізмів. Малі розміри, пластинчаста форма і ажурна внутрішня будова підвищують рухливість частинок золота у водному середовищі та знижують його технологічну контрастність з кварцом та іншими мінералами алювію. Це вимагає модернізації техніки і технології проведення пошуково-розвідувальних робіт і збагачення розсипів золота. Для вилучення тонкого золота з розсипів та корінних руд розроблена нова технологія [5]. Її подальший розвиток та широке використання буде сприяти підвищенню ефективності пошуково-розвідувальних та експлуатаційних робіт на золото, особливо в південних областях України.

Утворення і накопичення мінералів в результаті хімічних реакцій та за участю живих організмів свідчить, що нижче розподілу вода-осад у річковій гідросистемі утворюється значна маса мінеральної речовини. У формі мікрочасточок в твердому річковому стоці вона транспортується до морських (океанічних) басейнів де розповсюджується у якості теригенного матеріалу. Тому слід шукати відмінності у їх морфології, складі та інших особливостей від схожих аутигенних утворень морських басейнів.

Зв'язок морфології аутигенного піриту і золотоносності річкового алювію може бути опосередкованим. Розсипи самородних металів локалізуються у підшві розрізу річкових осадків. Саме в цих місцях відмічається мінімальний парціальний тиск кисню і створюється відновлювальне середовище, сприятливе для утворення пентагондодекаедричного піриту. Дана особливість може бути використана у якості пошукового мінералогічного критерію золотого розсипоутворення, аналогічно корінним родовищам золота, де часто знаходиться пірит у вигляді пентагондодекаедрів [3].

За вмістом цінних мінералів деякі проби алювію наближаються до руд. Використання сучасних технологій дозволяє виробляти з них відповідні концентрати [11]. Особливо перспективними є ділянки одночасного накопичення мінералів природного і промислового походження. Просторово вони тяжіють до великих промислових центрів. Одночасно з виробництвом концентратів з алювію можуть бути виділені і інші цінні продукти: кварц, маршаліт, карбонати, глина та інші корисні мінеральні утворення. Це підвищить рентабельність переробної галузі і буде сприяти зменшенню забруднення навколишнього середовища.

Генетичні ознаки мінералів річкового алювію містять важливу інформацію щодо геологічної будови водозбірної площі, умов осадження, перекристалізації та інших перетворень осаду, можливості його використання і збереження природного стану довкілля. Застосування сучасних методів мінералого-літологічних досліджень дозволяє сподіватися на прогрес у подальшому вивченні сучасного річкового седиментогенезу та практичне використання отриманої інформації.

Список використаних джерел

1. Геология шельфа СССР. Литология : [монография] / [Шнюков Е.Ф. и др. ; гл. ред. Шнюков Е. Ф.]. – Киев: Наукова думка, 1985. – 190 с.
2. Іванченко В. В. Аутигенні сульфідні у додному осаді річок України / В. В. Іванченко, А. С. Квітка // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2014. – № 2. – С. 118-123.
3. Іванченко В. В. Літологія та можливості комплексного використання сучасного алювію річки Дніпро / В. В. Іванченко, М. В. Беліцька, І. В. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського університету. – 2015. – Т. 23(1) – С. 56-64.
4. Іванченко В. В. Минералого-технологические факторы повышения эффективности оценки природных и техногенных месторождений золота / В. В. Иванченко, Ю. Д. Чугунов, С. Д. Чугунов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Матер. все-рос. научно-практ. конф. – Якутск, 2014. – С. 213-217.
5. Лазаренко Е. К. Курс минералогии / Е. К. Лазаренко. – М.: "Высшая школа", 1971. – 608 с.
6. Літологія сучасних донних осадків поверхневих водойм Криворізького залізничного басейну / М. Є. Агаджанов, А. О. Бобко, І. М. Малахов та ін. – Кривий Ріг: "Октян Принт", 2008. – 110 с.
7. Методологічні питання вивчення трансформації геологічного середовища у гірничо-видобувних регіонах [Текст] : [монографія] / [Малахов І. М. та ін. ; ред. Альохіна Т. М.] ; НАН України, Держ. наук. установа "Від-ня мор. геології та осадоч. рудоутворення", Криворізь. відділок Нац. екоцентру України, Екоцентр-К. – Кривий Ріг : [б. в.], 2011. – 170 с. : рис., табл. – (Серія: Геологічне середовище антропогенної екосистеми).
8. Минеральный состав и агрегация железосодержащих металлургических шламов / В. В. Иванченко, М. И. Котляр, В. И. Шатоха и др. – Кривой Рог: Издательский центр КТУ, 2007 – 142 с.
9. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea / S. Y. Yang, H. S. Jung, D. I. Lim, C. X. Li // Earth-Science Reviews. – 2003. – Vol. 63(1). – P. 93-120.
10. Aller R. C. Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds: apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of ironstones / R. C. Aller, J. E. Mackin, R. T. Cox // Continental Shelf Research. – 1986. – № 6(1). – P. 263-289.
11. Belitska M. V. Lithology and technological features of sediments river inlets polluted with the wastes of industry in Krivey Rig basin (Ukraine) / M. V. Belitska // Proceedings of XVI Balkan mineral processing congress, June 17-19, 2015, Belgrade, Serbia. – Belgrade, 2015. – V. II. – P. 875-877.
12. Brunner P. The flux of metals through municipal solid waste incinerators / P. Brunner, H. Paul, M. Hermann // Waste Management & Research. – 1986. – Vol. 4(1). – P. 105-119.
13. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river / K. M. Mohiuddin, K. Zakir, H. M., Otomo et al. // International Journal of Environmental Science & Technology. – 2010. – Vol. 7(1). – P. 17-28.
14. Hrasna M. Environmental Geology – the new branch of geologic sciences / M. Hrasna // Acta Geologica Iniv. Com. – Bratislava, 1999. – № 54. – P. 66-68.
15. Іванченко В. В. Features of geochemistry and mineralogy of the modern river sedimentogenesis / V. V. Ivanchenko, M. V. Belitskaya, A. S. Ilyina // 2015 Goldschmidt Conference, 16-21 August, 2015, Prague, Czech Republic. – Prague, 2015. – P. 1395.
16. Nittrover C. A. Sedimentary processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research / C. A. Nittrover, D. J. DeMaster // Continental Shelf Research. – 1986. – V. 6(1). – P. 5-30.
17. Soil survey manual [Text] : Soil Conservation Service / Soil Survey Division Staff. – U.S. Department of Agriculture, 1993. – P. 90-92. – (Handbook 18).
18. The morphology and composition of Liberia placer gold / V. Mykhailov, V. Guliy, O. Kovtun, V. Sydoruk, Yu. Nakonechna // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2013. – Issue 4(63). – P. 45-49.

References

1. Shnyukov, Ye.F., Melnik, V.I., Inozemtsev Yu.I., et al. (1985). Geologiya shelfa USSR. Litologiya. (pp. 190). Kyiv: Naukova dumka. [in Russian].
2. Ivanchenko, V.V., Kvitka, A.S. (2012). Autigenni sulfidi u donnomu osadi richok Ukraini. Geologiya i poleznye iskopayemye Mirovogo okeana, 2, 118-123. [in Ukrainian].
3. Ivanchenko, V.V., Belitska, M.V., Gavriluk, I.V. (2015). Litologiya ta mozhlivosti kompleksnogo vikoristannya suchasnogo alyuviyu richki Dniro. Visnik Dnipropetrovskogo universitetu, 23(1), 56-64. [in Ukrainian].
4. Ivanchenko, V.V., Chugunov, Yu.D., Chugunov, S.D. (2014). Mineralogo-tekhnologicheskie faktory povysheniya effektivnosti otsenki prirodnykh i tekhnogennykh mestorozhdeniy zolota. Geologiya i mineralno-syryevye resursy Severo-Vostoka Rossii: Proceedings of the Conference. (pp. 213-217). Yakutsk. [in Russian].
5. Lazarenko, Ye.K. (1971). Kurs mineralogii. Moscow: Vysshaya shkola. [in Russian].
6. Agadzhanov, M.Ye., Bobko, A.O., Malakhov, I.M., Alokina, T.M., Ivanchenko V.V. (2008). Litologiya suchasnykh donnykh osadkiv poverkhnevikh vodoym Krivorizkogo zalizorudnogo baseynu. Kriviy Rig: "Oktan Print". [in Ukrainian].
7. Malakhov, I.M., Alokina, T.M., Ivanchenko, V.V., Bobko, A.O., Agadzhanov, M.Ye. (2011). Metodichni pitannya vivchennya transformatsii geologichnogo seredovishcha u girnicho-vidobuvnykh regionakh.

Geologichne seredovishche antropogennoi ekosistemi. Kriviy Rig: Vidavnistvo NAN Ukrainy. [in Ukrainian].

8. Ivanchenko, V.V., Kotlyar, M.I., Shatokha, V.I., Nesterenko, T.P., Tyryshkina, S.N. (2007). Mineralnyy sostav i aglomeratsiya zhelezosoderzhashchikh metallurgicheskikh shlamov. Krivoy Rog: Izdatelskiy tsentr KTU. [in Russian].

9. Yang, S.Y., Jung, H.S., Lim, D.I., & Li, C.X. (2003). A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth-Science Reviews*, 63(1), 93-120.

10. Aller, R.C., Mackin, J.E., & Cox, R.T. (1986). Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds: apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of ironstones. *Continental Shelf Research*, 6(1), 263-289.

11. Belitska M.V. (2015). lithology and technological features of sediments river inlets polluted with the wastes of industry in Kriviy Rig basin (Ukraine). (Vol. II, pp. 875 – 877). Proceedings of XVI Balkan mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, June 17-19, 2015.

12. Brunner, Paul H., and Hermann Mönch. (1986). The flux of metals through municipal solid waste incinerators. *Waste Management & Research*, 4.1, 105-119.

13. Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S., & Shikazono, N. (2010). Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(1), 17-28.

14. Hrasna, M. (1999). Environmental Geology – the new branch of geologic sciences. Bratislava. *Acta Geologica Univ. Com.*, 54, 66-68.

15. Ivanchenko V.V., Belitskaya M.V. and Ilyina A.S. (2015). Features of geochemistry and mineralogy of the modern river sedimentogenesis. (pp. 1395). 2015 Goldschmidt Conference. Prague, Czech Republic, 16-21 Aug.

16. Nittrouer, C.A., & DeMaster, D.J. (1986). Sedimentary processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research*, 6(1), 5-30.

17. Unateds States Department of Agriculture. (1993). Soil Survey Division Staff. Soil survey manual. Soil Conservation Service. (pp. 90-92). U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

18. Mykhailov V., Guliy V., Kovtun O., Sydoruk V., Nakonechna Yu. (2013). The morphology and composition of Liberia placer gold. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 4(63), 45-49.

Надійшла до редколегії 29.10.15

M. Belitska, Research Associate

State Scientific Institution "Department of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation"

National Academy of Sciences of Ukraine

7/10 Musorgsky Str., Kryvyi Rih, 50096 Ukraine

E-mail: belitska-mv@i.ua

MINERALS – INDICATORS OF CONDITIONS OF THE MODERN RIVER SEDIMENTOGENESIS

About hundred samples of modern alluvium of rivers in Central and Southern Ukraine: Dnieper, Southern Bug, Ingul, Ingulets and their tributaries are studied on their mineral compositions, structure and technological properties. River sediments contains a wide range of fragments from boulders in the upper reaches to pelitomorphic silt in delta areas. Sands and silts are the dominant varieties. Sediment composed of quartz and other silicates, carbonates, various oxides, sulfides, less sulfates, native minerals. In the estuarine areas of rivers identified high concentrations of almandine, ilmenite, zircon, monazite, to a lesser extent – apatite, rutile, gold and other minerals. A separate group of minerals form in the sediment micro spherulites, euhedral crystals, friable aggregates of needle-like crystals of microscopic size. These are barite, hematite, pyrite, marcasite, gypsum, carbonates. In their formation are involved processes of chemical deposition, substitution and biomineralogy. Identified the areas of pollution of alluvium by industrial waste, as a result of activity of enterprises on the catchment of rivers. The products of mining, metallurgical, machine-building, chemical and other industries fall into the river sediments. In some areas of rivers occurred enrichment of alluvium by technical minerals, and their concentration corresponds to poor ores. From the territory of settlements and enterprises to surface waters with sand and clay enters also oil. Transportation of wastes occurs along the system of gullies and ravines that enter into the river network. They are the most contaminated elements of modern geological environment.

Thus, river sedimentation differentiation and industrial activity are factors of modern river mineralization. Industrial production and urban catchment area have occurred to be the reason of fundamental changes in the natural state of rivers. Distributed its in mineral paragenesis and associations of alluvium have become sensitive indicators of condition of ecosystem. Completed studies indicate polygenic (natural and man-made) formation of high concentrations of heavy minerals and the possibility of integrated use of modern river sediments for the improvement of the environment situation. This allows to determine the genesis of mineralization, provides the necessary information about the technological properties of sedimentary ores and the methods of separation, creates conditions for the improvement of the ecological environment.

Keywords: alluvium, gold, authigenic minerals technogenesis, technological components, indicator minerals, ore enrichment.

М. Белицкая, млад. науч. сотрудник

Государственное научное учреждение

"Отделение морской геологии и осадочного рудообразования" НАН Украины

ул. Мусоргского, 7/10, г. Кривой Рог, 50096, Украина

E-mail: belitska-mv@i.ua

МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ СОВРЕМЕННОГО РЕЧНОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА

В работе исследовано около ста проб современных пойменных и русловых отложений рек Центральной и Южной Украины: Днепра, Южного Буга, Ингула, Ингульца. В алевроито-псаммитовых разновидностях аллювия в предустьевых участках рек обнаружены повышенные концентрации тяжелых минералов: альмандина, ильменита, циркона, монацита, в меньшей степени, апатита, рутила, золота и других. Выявлено загрязнение речных долин, связанное с деятельностью промышленных предприятий, расположенных на водосборной площади рек. В продуктах современного речного седиментогенеза соотношение терригенных, аутигенных и техногенных компонентов, по сравнению с прошлыми геологическими эпохами, изменилось в пользу аутигенных и техногенных компонентов. Определены особенности современного речного седиментогенеза, приводящие к накоплению тяжелых минералов и возможности комплексного использования аллювия.

Ключевые слова: аллювий, золото, аутигенные минералы, техногенез, техногенные компоненты, минералы-индикаторы, обогащение руд.

УДК 550.4

А. Пушкарев, канд. геол.-минералог. наук, вед. науч. сотрудник

E-mail: pushkarevigns@rambler.ru

И. Руденко, млад. науч. сотрудник

E-mail: Irina_mihalovna@ukr.net

В. Скрипкин, науч. сотрудник

E-mail: PSRTL@rambler.ru, mailto:PSRTL@rambler.ru

ГУ "Институт Геохимии Окружающей Среды" НАН Украины

пр. Академика Палладина, 34-а, г. Киев, 03680, Украина

АДСОРБЦИЯ ТРИТИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАНЫМИ ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ

(Рекомендовано членами редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком та д-ром геол. наук, проф. О.В. Митрохином)

Экспериментальными исследованиями выполнена оценка степени влияния поровой и адсорбционной воды на способность глинистых минералов экстрагировать тритий из водных растворов. С этой целью выполнены две серии экспериментов в закрытых системах "глинистый минерал – тритированная вода". В каждой серии использованы представители основных структурных типов глинистых минералов: каолинит (структурный тип 1:1), монтмориллонит и сапонит (структурный тип 2:1), палыгорскит и сепиолит (ленточно-канальный тип структуры). В первой серии использованы глинистые минералы, термически необработанные. Во второй серии использованы термически обработанные глинистые минералы при температуре 110°C. Длительность экспериментов составляла до 6 месяцев. Полученные данные свидетельствуют, что термическая обработка улучшает адсорбционные свойства глинистых минералов. Доля запаса трития, извлеченного из исходной тритированной воды в экспериментальных системах (Кп), возросла в термически обработанных глинистых минералах всех структурных типов. Определены наиболее эффективные экстракторы трития из водного раствора, с величиной Кп = 52% (монтмориллонит) и 53% (сепиолит). Результаты экспериментов обоснованно подтверждают рациональность термической обработки глинистых минералов для увеличения их эффективности при использовании в качестве адсорбентов трития из водных растворов.

Ключевые слова: поровая и адсорбционная вода, каолинит, монтмориллонит, сапонит, палыгорскит, тритированная вода, термическая обработка, запас трития.

Актуальность. Среди проблем, связанных с использованием радиоактивных материалов и функционированием ядерного топливно-энергетического комплекса важное место занимают задачи минимизации экологических последствий возможного загрязнения окружающей среды тяжелыми изотопами водорода. Как известно, главными источниками образования техногенного трития являются предприятия ядерной энергетики, а также пункты сохранения радиоактивных отходов (ПСРО). Большая часть трития (до 90%), наработанного в этих объектах находится в виде тритированной воды "НТО", где количество молекул H₂O >>> количества молекул НТО. Остальная часть представлена газом (НТ), который рассеивается в воздухе до безопасных концентраций. Поэтому актуальным является поиск эффективных и дешевых адсорбентов, позволяющие извлекать тритий из водных растворов и таким образом обеспечивать уменьшение радиационной нагрузки на окружающую среду в местах расположения АЭС и ПСРО.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. Как показали предыдущие исследования, в НТО, которая фильтруется сквозь глинистые породы или композиты, образованные на основе глинистых минералов, существенно уменьшается удельная активность трития [2, 6-9]. Глинистые минералы, как известно, относятся к весьма распространенному в природе классу слоистых силикатов (филлосиликатов) [13]. Анализ потенциальных свойств слоистых силикатов накапливать и удерживать тритий показал, что главную роль в этом процессе играют их структурные и структурно-химические особенности [12]. Интенсивность и скорость изотопного обмена в системе "минерал – вода" определяются досягаемостью реакционных поверхностей минеральных частиц для молекул НТО, которая, в свою очередь, зависит от скорости обмена на границе раздела этих фаз и скорости диффузии трития в разных частях системы: порах, адсорбционном слое, межслоевой или цеолитной воде [16-17, 20].

Наличие в глинистых минералах в воздушно сухом состоянии поверхностно адсорбированной (10-12%) и межслоевой (2-8%) воды приводит к разбавлению тритированной воды при ее взаимодействии с минераль-

ной субстанцией [18]. Обычно базальные плоскости филлосиликатов являются нейтральными, но в результате изоморфных замещений на них могут возникать отрицательные структурные заряды. Эти структурные заряды не заселяют базальные поверхности. Они создают электрические поля, которые во всех направлениях влияют на поверхностный обменный потенциал [14] и отвечают за рост катионной адсорбционной способности базальных поверхностей. Этот потенциал вместе с электрическим потенциалом, генерируемым протонным обменом, может существенно влиять на реактивность краевых поверхностей минеральных частиц. Кроме того, возможен эффект частичного блокирования доступа молекул НТО в реакционных позициях минеральных частиц за счет наличия на их поверхности двойного электрического слоя [4].

Особенности механизма реализации межфазовых взаимодействий в системе "глинистый минерал - НТО" до сих пор не совсем решены, поэтому нуждаются в дополнительных экспериментальных исследованиях.

Цель исследований. Определение наличия или отсутствия влияния поровой и адсорбированной на поверхности минеральных частиц воды на способность глинистых минералов адсорбировать тритий из водных растворов. С этой целью выполнена серия экспериментов в закрытых водно-минеральных системах. В качестве реагирующих веществ были использованы тритированная вода ("НТО"), исходные и термически обработанные глинистые минералы структурных типов 1:1, 2:1 и с ленточно-канальной структурой. На основе полученных экспериментальных данных планируется выполнить работы по разработке практических рекомендаций по выбору и подготовке минеральных адсорбентов на основе глинистых минералов для очистки водных растворов от трития.

Материалы и методы. Для создания экспериментальных систем использовались типичные представители различных структурных типов глинистых пород: каолинит Глуховского месторождения (Украина), монтмориллонитовая (далее монтмориллонит) и палыгорскитовая (далее палыгорскит) глины Черкасского месторождения (Украина), сапонит Варваровского месторож-

дения (Украина) и сепиолит из месторождения Викалваро (Испания). Как известно, главными структурными элементами глинистых минералов является гексагональные сетки кремний-кислородных тетраэдров, сочлененных с также гексагональными сетками алюминий (магний, железо и т.д.) – кислород – гидроксильных октаэдров [15]. Отличие минеральных разновидностей заключается в том, что структурные элементы в них сочленяются несколько по-разному.

В структурном типе 1:1, представителем которого является каолинит, в элементарном структурном пакете одна тетраэдрическая сетка сочленяется с одной октаэдрической сеткой. В октаэдрической алюмо-кислородной сетке значительная часть атомов кислорода замещена гидроксильными группами (ОН) таким образом, что ближайшее окружение ионов алюминия состоит из четырех ОН-групп и двух ионов кислорода, которые являются общими для обеих сеток каждого слоя [15]. Смежные слои в таком минерале размещаются один относительно другого таким образом, что гидроксильные группы октаэдрической сетки одного слоя соприкасаются с кислородными атомами тетраэдрической сетки смежного слоя и между ними возникают водородные связи типа О-Н, которые мешают разбуханию пакета кристаллической решетки. В результате молекулы воды и обменные катионы не могут проникать в межпакетное пространство и поэтому, каолинит имеет небольшую емкость обмена ($3 \cdot 10^{-3} - 15 \cdot 10^{-3}$ моль/100 г).

Вместе с тем, несмотря на отсутствие в структуре этого минерала молекул воды, как транспортных агентов тяжелого изотопа к местам расположения ОН-групп, тяжелый изотоп водорода, тем не менее, накапливается в минеральной матрице [12]. В условиях увлажненности минерала НТО за короткое время заполняет поровое пространство между минеральными частицами и формирует начальный адсорбционный слой. Таким образом обеспечивается включение механизмов изотопного обмена за счет взаимодействия поверхностно адсорбированных молекул НТО с внутренними ОН-группами в приповерхностных сетках Al-гидроксильных октаэдров в кристаллитах каолинита.

В макромолекулярных пакетах минералов типа 2:1, к которым относится группа смектитов и, соответственно, минералы монтмориллонит и сапонит, между двумя гексагональными сетками алюминий – кремний-кислородных тетраэдров расположена одна октаэдрическая алюминий-кислородно-гидроксильная (в монтмориллоните) или магний – кислородно-гидроксильная (в сапоните) сетки [15]. В диоктаэдрическом монтмориллоните в центральном слое из каждых трех октаэдров только два заселены трехвалентными катионами (Al^{3+} , Fe^{3+}), которые упорядоченно чередуются с вакантными октаэдрами. В триоктаэдрическом сапоните, в отличие от монтмориллонита, в октаэдрическом слое находятся двухвалентные ионы Mg^{2+} и вакантные позиции в нем отсутствуют.

Верхние и нижние поверхности элементарных пакетов монтмориллонита и сапонита покрыты атомами кислорода, поэтому связь между пакетами слабая, где действуют Ван-дер-Ваальсовы межмолекулярные силы. Между пакетами находятся молекулы воды, за счет которых на межфазовых границах минеральных частиц формируется двойной диффузный слой [19]. Вхождение молекул НТО в межслоевое пространство монтмориллонита ускоряется при разбухании сухой минеральной массы при ее контакте с тритированной водой, сопровождаемое существенным увеличением расстояния между структурными пакетами в монтмориллоните от 9,6 до 12,5-28 Å [3] (и несколько меньше в сапоните). При этом создаются условия для регидратации обменных катионов (Na, K, Ca, Li и др.) что ведет

к изъятию их из гексагональных колец структуры в межслоевое пространство. Как следствие, увеличивается возможность для обмена протона структурной ОН-группы минерала на тритон ($^3H^+$) молекулы НТО.

В основе структуры минералов с ленточно-канальной структурой лежат спаренные кремний-кислородные цепочки пироксенового типа [10]. Кремний-кислородные тетраэдры соединяются в ленты катионами Mg^{2+} и Al^{3+} , которые дополняются до октаэдрической координации связанными с ними гидроксильными группами. Толщина таких лент идентична толщине такого слоя в силикатах типа 2:1 и составляет 0,92-0,94 нм. Ширина ленты в палыгорските – около 1,2 нм, а в сепиолите 1,8 нм. Ленты соединяются между собой вдоль оси "с" атомами кислорода таким образом, что создают в плоскости "ае" квинаксную (шахматную) структуру. Трехэтажные ленты в структуре палыгорскита и сепиолита чередуются с цеолитными каналами, где находятся молекулы воды двух типов. Один тип связан с координационно ненасыщенными ионами на боковых стенках каналов (это координационно связанная вода). Другой тип воды не связан с какими-то кристаллографическими местами и только заполняет цеолитные полости (цеолитная вода). В случае взаимодействия палыгорскита с тритированной водой молекулы НТО могут проникать сквозь каналы минеральной структуры, где обмениваться с молекулами цеолитной и координационно связанной H_2O .

Для выявления исследуемого эффекта влияния термической обработки глинистых минералов на их способность адсорбировать тритий из водных растворов были проведены две серии экспериментов. В обеих сериях использовались идентичные минеральные вещества, измельченные до размера частиц 0,25 мм.

Для создания первой экспериментальной серии использовались исходные, термически необработанные минералы (системы: K1 с каолинитом, M1 – с монтмориллонитом, Ca1 – с сапонитом, П1 – с палыгорскитом и Сеп1 – с сепиолитом). Для создания второй экспериментальной серии (соответственно: K2, M2, Ca2, П2 и Сеп2) исходные минералы были термически обработаны в сушильном шкафу при температуре 110°C в течение 5 часов. Охлаждение минеральных масс выполнялось в эксикаторе с просушенным воздухом при помощи кюветы, наполненной $CaCl_2$. Охлажденные навески исследуемых минералов помещались в стеклянные сосуды, заливались НТО и плотно закрывались с целью проведения экспериментов в условиях закрытых систем. Продолжительность экспериментов составляла до 6 месяцев.

После окончания экспериментов пробы остаточного раствора были профильтрованы и очищенные от органических примесей (окисление добавлением в раствор $K_2Cr_2O_7$). После дистилляции порции проб смешивали со сцинтиллятором Hi Sife 3 Wallac в соотношении 8:12. Содержание трития в подготовленных таким образом эмульсиях определялось с помощью жидкостного сцинтилляционного β-спектрометра Quantulus 1220 (LKW Wallac) с погрешностью не более 5%.

Результаты экспериментов и их обсуждение.

Поверхностно адсорбированная вода в глинистых минералах является слабосвязанной, ее молекулы удерживаются на поверхности минеральных частиц за счет сил межмолекулярного взаимодействия с поверхностными атомами минеральных частиц. Эта, энергетически слабо связанная вода удаляется из глинистых минералов по данным дифференциального термического анализа (ДТА) при температуре до 110°C.

Потеря влаги из воздушно-сухих минеральных масс вследствие их прогрева при температуре до 110°C приведена в табл. 1.

Таблица 1

Потеря поверхностно-адсорбированной воды, в результате термической обработки глинистых минералов

Минерал	Температура прогрева, °С	Вес до прогрева, г	Вес после прогрева, г	Уменьшение веса, %
каолинит	110	120	118	1,67
монтмориллонит	110	100	86,88	13,12
сапонит	110	100	87,43	12,57
пальгорскит	110	100	89,55	10,45
сепиолит	110	47,8	42,8	10,46

Полученная характеристика содержания влаги в различных структурных типах глинистых минералов позволяет составить представление об их обменном потенциале. Так, в соответствии с особенностями структуры, эти группы минералов характеризуются различной емкостью поверхностно адсорбированной влаги. Например, для каолинита (структурный тип 1:1) содержание поверхностно адсорбированной влаги составляет чуть менее 2% в результате плотного сочленения пакетов тетраэдрической и октаэдрической сеток (таблица 1). Поэтому проникновение молекул НТО в обменные позиции каолинита очевидно должно быть затрудненным в случае взаимодействия этого минерала с тритированной водой.

В минералах со структурным типом 2:1 емкость поверхностно адсорбированной влаги является наибольшей (13,12% в монтмориллоните и 12,57% в сапоните). Благодаря этому такие минералы имеют наибольший потенциал для транзита молекул НТО в межслоевое пространство и дальнейшего молекулярного НТО→Н₂О обмена. Вместе с тем, наличие достаточно большого количества поверхностно адсорбированной влаги даже в воздушно сухой минеральной массе вносит некото-

рые коррективы в процесс протий-трיתיового обмена в системе "минерал – НТО". На начальной стадии такого процесса исходная поверхностно адсорбированная вода влияет на уменьшение удельной активности трития в тритированной воде посредством ее разбавления в соответствии с выражением (1).

$$D = W_0 / (V_s + W_0), \quad (1)$$

где D – Показатель степени разбавления исходной тритированной воды в закрытой системе "минерал – НТО", W_0 – начальный объем тритированной воды в закрытой водно-минеральной системе, мл, V_s – объем поверхностно адсорбированной воды в минеральной массе, мл.

Аналогичный эффект может наблюдаться и в минералах с ленточно-канальной структурой - в пальгорските и сепиолите, где количество поверхностно адсорбированной воды в минеральной массе составляет около 10,5%.

Показатель степени разбавления тритированной воды непосредственно в конкретных экспериментальных водно – минеральных системах (D), где были использованы определенные объемы НТО и соответствующие массы термически необработанных глинистых минералов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Степень разбавления исходной НТО в системах с термически необработанными глинистыми минералами

Степень разбавления исходной НТО	Глинистые минералы				
	Каолинит	Монтмориллонит	Сапонит	Пальгорскит	Сепиолит
D	0,996	0,968	0,982	0,974	0,988

Значения показателя степени разбавления тритированной воды естественно зависят от конкретных соотношений масс, используемых реагирующих веществ в конкретных экспериментальных системах. Вместе с тем, они дают представление о значимости влияния количества поровой и поверхностно адсорбированной воды на процессы изотопно-водородного обмена между тритированной водой и минеральным адсорбентом. Так, наибольший вклад в разбавление тритированной воды при ее взаимодействии с минеральной массой возможен в системах с монтмориллонитом ($D = 0,968$) и наименьший эффект разбавления – в системах с каолинитом ($D = 0,996$). В дальнейшем межфазовом взаимодействии наличие молекул такой воды может частично блокировать процесс вхождения молекул НТО в межслоевое пространство глинистых минералов и уменьшать возможность протий-трיתיового обмена в их структурных ОН-группах.

После замещения в минеральной массе исходной поровой и адсорбированной влаги тритированной водой начинается извлечение трития из раствора минеральным адсорбентом. Для количественной оценки эффективности этого процесса целесообразно использовать такой параметр, как запас трития в минеральной массе.

В условиях закрытых экспериментальных систем эта величина исчислялась, как разница запаса трития в тритированной воде соответственно до и после ее взаимодействия с минеральной массой (2):

$$Q_m = Q_w - Q_f, \quad (2)$$

где Q_m – запас трития в массе минеральной среды, Бк; Q_w – начальный запас трития в использованном объеме исходной "НТО", Бк; Q_f – запас трития в объеме "НТО", которая взаимодействовала с минеральной массой после завершения эксперимента, Бк.

Таблица 3

Снижение удельной активности трития в НТО при взаимодействии с термически необработанными глинистыми минералами

Система	Масса минеральной навески, г	Объем НТО, дм ³	Удельная активность трития, Бк/дм ³		Уменьшение удельной активности трития, %
			до эксперимента	после эксперимента	
К 1	150	600	5130	4790	6,6
М 1	200	800	2560	1367	46,61
Са 1	87,5	300	2560	1250	51,17
П 1	250	800	2048	1676	18,16
Сеп 1	250	800	2560	1414	44,76

Как видно из приведенных данных, эффективность снижения удельной активности трития в экспериментальном объеме "НТО" термически необработанными глинистыми минералами увеличивается в ряду систем: $Ca1 < K1 < П1 < M1 < Cep1$. Частично этот процесс обеспечивается разбавлением тритированной воды за счет поровой и адсорбированной влаги, которая присутствует в воздушно сухой минеральной массе (табл. 1).

Накопление трития в минеральных адсорбентах представлено в табл. 4. Долевая часть адсорбированного из водного раствора трития выражена коэффициентом K_n , который рассчитывается согласно выражению (3):

$$K_n = Q_m \times Q_w^{-1} \times 100 \quad (3)$$

где Q_w – запас трития в исходной "НТО", Бк; Q_m – запас трития в элементарном объеме минеральной среды, Бк.

Согласно приведенным данным, среди термически необработанных глинистых минералов наименьшая адсорбционная способность отмечена у каолинита (19%), а наибольшая – у сепиолита (41,5%).

Термическая обработка глинистых минералов приводит к удалению из минеральной массы поровой и поверхностно адсорбированной воды. Поверхность минеральных частиц активируется, а базальные участки структур, теряя ассоциированные с ними полярные молекулы воды, могут при этом, сохранять некомпенсированные заряды. Одновременно термическая обработка глинистых минералов ведет к увеличению количества высокоэнергетических адсорбционных центров [11].

Таблица 4

Изменение запаса трития в термически необработанных глинистых минералах при их взаимодействии с НТО

Система	Запас трития в исходной НТО, (Q_w), Бк.	Масса минеральной навески, г	Удельный запас трития в минеральной массе, Бк/г.	Запас трития в минеральной массе, (Q_m), Бк.	Доля запаса трития в минеральной массе (K_n), %.
K 1	3075	150	3,9	585	19,0
M 1	2050	200	3,7	740	36,1
Ca 1	3075	150	6,2	930	30,2
П 1	2050	250	2,2	550	26,8
Cep 1	2050	250	3,4	850	41,5

При планировании экспериментов с термической обработкой глинистых минералов предполагалось, что их последующий контакт с тритированной водой может привести к более интенсивной экстракции трития из водного раствора. Прежде всего, этому должно способствовать освобождение минеральной массы от поровой и поверхностно адсорбированной воды. Кроме того, при взаимодействии тритированной воды (которая, как мы отмечали, представляет собой смесь молекул $H_2O \gg \gg$ НТО) с активированными минеральными частицами возможно проявление эффекта фракционирования изотопов водорода.

Процесс молекулярной адсорбции на межфазовой границе "вода – минеральная частица" сопровождается формированием граничного адсорбционного слоя [5]. В его пределах обычно развивается двойной электрический слой (ДЭС), имеющий характер электрического конденсатора. Нарушения электронейтральности адсорбирующих поверхностей ведет к развитию в ДЭС электрокинетических явлений, поляризации и притягиванию, приближенных к минеральной частице молекул воды.

Важнейшей особенностью сорбционных процессов является их динамический характер. Каждая адсорбированная частица (молекула) обладает различной прочностью связей с поверхностью, которая определяется

временем задержки частицы на адсорбирующей поверхности или временем адсорбции t [1].

Для физической адсорбции, обусловленной слабыми компонентами поверхностной энергии, это время очень мало и составляет до 10^{-13} с. Поэтому, величина адсорбции, т.е. задержки частицы поверхностью, является кинетическим фактором, который и определяет соотношение адсорбированных и десорбированных молекул. Таким образом, динамический характер адсорбционно-десорбционных процессов позволяет ожидать проявление эффекта фракционирования молекул с разной молекулярной массой (H_2O и НТО) и преимущественное удержание у адсорбционной поверхности минеральных частиц более инерционных молекул НТО.

В результате проведенных экспериментов с глинистыми минералами, представляющими различные структурные типы кристаллических решеток (1:1, 2:1 и ленточно-канального типа) получены данные, подтверждающие общие представления об адсорбционно-десорбционном взаимодействии в системах "глинистый минерал – тритированная вода".

Как следует из табл. 5, практически во всех исследованных глинистых минералах после термической обработки было зафиксировано увеличение их способности адсорбировать тритий из водного раствора.

Таблица 5

Изменение запаса трития в термически обработанных глинистых минералах при их взаимодействии с НТО

Система	Запас трития в исходной НТО, (Q_w), Бк.	Масса минеральной навески, г	Удельный запас трития в минеральной массе, Бк/г.	Запас трития в минеральной массе, (Q_m), Бк.	Доля запаса трития в минеральной массе (K_n), %.
K 2	1990	101,04	4,4	458	23,0
M 2	3075	94,2	17	1601	52,1
Ca 2	3075	104,2	9,4	979	31,9
П 2	3075	100	12,5	1250	40,7
Cep 2	3075	100	16,4	1640	53,3

При сравнительном анализе результатов проведенных экспериментов отчетливо прослеживается общая закономерность. Термическая обработка глинистых минералов всех исследованных структурных типов (1:1, 2:1 и ленточно-канального типа) несколько снижает возможность частичного разбавления контактирующей с ними тритированной воды. Содержащаяся в термиче-

ски необработанной минеральной массе *in situ* влага (поровая и поверхностно адсорбированная) обеспечивает некоторое, незначительное снижение удельной активности трития в "НТО" лишь на начальном этапе межфазового взаимодействия.

Активация при термической обработке поверхности минеральных частиц обеспечивает частичное фракци-

онирование микшированной водной массы "H₂O + НТО". В граничном адсорбционном слое в ходе динамических адсорбционно-десорбционных процессов при времени задержки молекул в граничном слое порядка 10⁻¹³ с более тяжелые молекулы НТО задерживаются с большим преимуществом. Этот эффект обеспечивает большую возможность для обменных

изотопно-водородных реакций в более прочных позициях глинистых минералов – в межслоевом пространстве и в позициях структурных ОН-групп. В конечном итоге весь комплекс этих процессов приводит к увеличению способности глинистых минералов адсорбировать тритий из водных растворов (рис. 1).

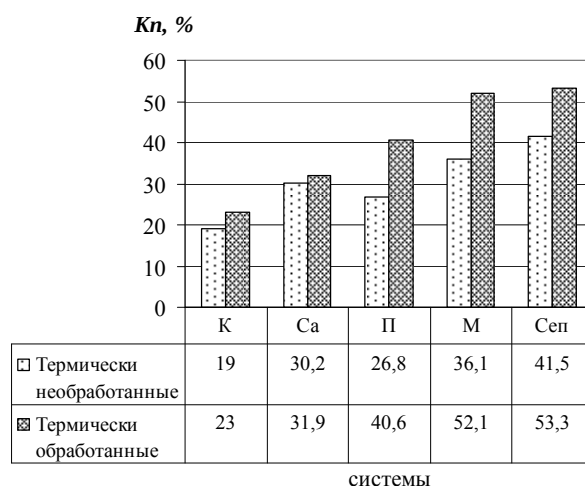


Рис. 1. Доля запаса трития (Kn, %) в минеральной массе экспериментальных систем:

Индексы глинистых минералов: К - каолинит, Са – сапонит, П – палыгорскит, М – монтмориллонит, Сеп – сепиолит

После термической обработки способность глинистых минералов адсорбировать тритий из водных растворов возрастает в ряду:

каолинит < сапонит < палыгорскит < монтмориллонит < сепиолит.

При этом, приращение доли запаса трития, извлеченного из водного раствора глинистыми минералами после термической обработки, составило от 1,7% в сапоните и до 16% в монтмориллоните.

Согласно приведенным результатам экспериментальных исследований, можно утверждать, что термическая обработка повышает адсорбционные свойства глинистых минералов. Освобождение порового пространства в минеральной массе, активация поверхности минеральных частиц с формированием двойного электрического слоя на границе раздела твердой и жидкой фаз увеличивают способность глинистых минералов экстрагировать тритий из водных растворов. Полученные данные обоснованно подтверждают исходный тезис о рациональности термической обработки глинистых минералов для увеличения их эффективности при использовании в качестве адсорбентов трития из водных растворов.

Выводы. Экспериментальными исследованиями, выполненными для оценки влияния термической обработки на повышение адсорбционных свойств глинистых минералов для экстрагирования трития из водных растворов установлено:

1. Термическая обработка глинистых минералов при 110°C приводит к освобождению пор в минеральной массе, удалению поверхностно адсорбированной воды, которая удерживается на минеральных частицах. Фиксируемая потеря массы составляет от 1,7% в каолините и до 13% в монтмориллоните и сапоните.

2. При взаимодействии тритированной воды с термически необработанными глинистыми минералами наблюдается слабый эффект разбавления НТО за счет поровой и адсорбированной на минеральных частицах воды. Снижение удельной активности трития при этом составляет от 0,996 у каолинита и до 0,968 у монтмориллонита.

3. После термической обработки активированные поверхности минеральных частиц являются благоприятной субстанцией для более преимущественного удержания в приграничном слое молекул НТО в условиях динамического адсорбционного процесса.

4. Термическая обработка, улучшает способность глинистых минералов адсорбировать тритий из водного раствора. Накопление трития в термически обработанных глинистых минералах увеличивается в ряду от сапонита до монтмориллонита (соответственно от 1,7% до 16%). При этом, доля запаса трития (Kn) в сепиолите возрастает до более 53%.

Список використаних джерел

1. Де Бур И. Х. Динамический характер адсорбции [Текст] / И. Х. Де Бур. – М.: -Л.: Изд. иностранной литературы, 1962. – 291 с.
2. Динаміка накопичення тритію в мінеральному середовищі [Текст] / О. В. Пушкар'єв, А. С. Литовченко, Р. О. Пушкар'єва, Е. О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – Київ, 2000. – № 3. – С. 42-45.
3. Лазаренко Е. К. Курс минералогии. [Текст] / Е. К. Лазаренко. – М.: Высшая школа, 1971. – 608 с.
4. Попов В. Г. Ионнообменная концепция в генетической гидрогеохимии [Текст] / В. Г. Попов, Р. Ф. Абдрахманов ; Под ред. д-ра г.-м. н., проф., акад. РАН В. Г. Попова. – Уфа: "Гилем", 2013. – 355 с.
5. Поспелов Г. Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. [Текст] / Г. Л. Поспелов. – Новосибирск: Наука, 1973. – 355 с.
6. Пушкар'єв О. В. Оцінка кінетики ізотопно-обмінних реакцій в глинистих мінералах [Текст] / О. В. Пушкар'єв, В. М. Приймаченко // Збірник наукових праць. Інститут геохімії навколишнього середовища. – Київ, 2010. – Вип. 18. – С. 140-148.
7. Пушкар'єв О. В. Взаємодія тритієвої води з глинистими мінералами [Текст] / О. В. Пушкар'єв, В. М. Приймаченко // Збірник наукових праць. Інститут геохімії навколишнього середовища. – Київ, 2010. – Вип. 18. – С. 149-156.
8. Пушкар'єв О. В. Властивості бентоніто-цеолітових композитів щодо вилучення тритію з тритієвої води [Текст] / О. В. Пушкар'єв, В. М. Приймаченко, І. О. Золкін // Збірник наукових праць. Інститут геохімії навколишнього середовища. – Київ, 2012. – Вип. 20. – С. 98-108.
9. Сепіоліт-цеолітові композити як потенційні водопроникні реакційні бар'єри [Текст] / О. В. Пушкар'єв, І. М. Руденко., В. В. Долін (мол.), В. М. Приймаченко // Збірник наукових праць. Інститут геохімії навколишнього середовища. – Київ, 2014. – Вип. 23. – С. 98-107.
10. Тарасевич Ю. И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов [Текст] / Ю. И. Тарасевич. – К.: Наук. думка, 1988. – 248 с.
11. Тарасевич Ю. И. Адсорбция на глинистых минералах / Ю. И. Тарасевич, Ф. Д. Овчаренко. – К.: Наук. думка, 1975. – 348 с.
12. Assessment of the potential ability of phyllosilicates to accumulate and retain tritium in structural OH-groups. [Текст] / A. S. Lytovchenko, A. V. Pushkarev, V. P. Samodurov et al. // Мінерал. журн. – 2005. – № 2. – С. 59-65.

13. Bailey S. W. Summary and recommendation of the AIPEA Nomenclature committee / S. W. Bailey [Текст] // Clay Science. – 1979. – Vol. 5, № 4. – P.209-220.

14. Bleam W. F. The nature of cation substitution sites in phyllosilicates [Text] / W. F. Bleam // Applied Clay Minerals. – 1990. – Vol. 38. – P. 527-536.

15. Deer W. A. Rock-forming minerals [Text] / W. A. Deer., R. A. Howie, J. Zussman. – London: Longmans, 1962. – Vol. 3. – P. 317 c.

16. Goldansky V. I. Tunneling phenomena in Chemical Physics. [Text] / V. I. Goldansky, L. I. Trahtenberg, V. N. Flerov. – N.-Y.: Gordon and Breach Science Publishers, 1989. – 328 p.

17. Hammes-Shiffer S. Mixed quantum-classical dynamics of single proton, multiple proton, and proton-coupled electron transfer reaction in the condensed phase [Text] / S. Hammes-Shiffer // Advances in Classical Trajectory Methods. – 1998. – Vol. 3. – P. 73-119.

18. Tritium accumulation and preservation into phyllosilicates and mineral mixtures for environmental protection. [Text] / P. Fenoll Hach-Ali, V.P. Samodurov et al. // Project INTAS 2001-2166 (TRITAR): Final report. – Granada, 2001. – Annex 1. – P. 1-35.

19. Wersin P. Modelling bentonite – water interactions at high solid/liquid ratios: swelling and diffuse double layer effects [Text] / P. Wersin., E. Curti., C. A. J. Apello // Applied Clay Science. – 2004. – Vol. 26. – P. 250-251.

20. Zakn D. Quantum-classical simulation of proton migration in water [Text] / D. Zakn, J. Brickmann // Jsr. J. Chem. – 1999. – Vol. 39, № 3-4. – P. 463-482.

References

1. De Bur, I.H. (1962). Dinamicheskij harakter adsorbzii. Moscow, Leningrad. [in Russian].

2. Pushkar'ov O.V., Lytovchenko A.S., Pushkar'ova R.O., Jakovljiev E.O. (2000). Dynamika nakopychennja trytijy v mineral'nomu seredovyshhi. Kyiv, Mineralni resursy Ukrainy, 3, 42-45. [in Ukrainian].

3. Lazarenko E.K. (1971). Kurs mineralogii. Moscow: Vysshaja shkola, 608 p. [in Russian].

4. Popov V.G., Abdrahmanov R.F. (2013). Ionoobmennaja koncepcija v geneticheskij gidrogeohimii. Ed. by V.G. Popov. Ufa: Gilem, 355 p. [in Russian].

5. Pospelov G.L. (1973). Paradoksy, geologo-fizicheskaja sushchnost i mehanizmy metasomatoza. Novosibirsk: Nauka, 355 p. [in Russian].

6. Pushkar'ov O.V., Prymachenko V. M. (2010a). Ocinka kinetyky izotopno-obminnykh reakcij v glynystykh mineralah. Kyiv, Zbirnyk naukovykh prac. Instytut geohimii navkolyshn'ogo seredovyshha, 18, 140-148. [in Ukrainian].

7. Pushkar'ov O.V., Prymachenko V. M. (2010b). Vzaemodija trytievoi vody z glynystykh mineralamy. Kyiv, Zbirnyk naukovykh prac, Instytut geohimii navkolyshn'ogo seredovyshha, 18, 149-156. [in Ukrainian].

8. Pushkar'ov O.V., Prymachenko V.M., Zolkin I.O. (2012). Vlastyosti bentonito-ceolitovykh kompozitiv shhodo vyluchennja trytijy z trytijjevoi vody. Kyiv, Zbirnyk naukovykh prac. Instytut geohimii navkolyshn'ogo seredovyshha, 20, 98-108. [in Ukrainian].

9. Pushkar'ov O.V., Rudenko I.M., Dolin V.V. Jr., Prymachenko V.M. (2014). Sepiolit-ceolitovi kompozity jak potencionni vodopronyknii reakcijni barjery. Kyiv, Zbirnyk naukovykh prac. Instytut geohimii navkolyshn'ogo seredovyshha, 23, 98-107. [in Ukrainian].

10. Tarasevich Ju.I. (1988). Strojenije i himija poverhnosti sloistykh silikatov. Kyiv, Naukova Dumka, 248 p. [in Russian].

11. Tarasevich Ju.I., Ovcharenko F.D. (1975). Adsorbcija na glinistykh mineralah. Kyiv, Naukova Dumka, 348 p. [in Russian].

12. Lytovchenko A.S., Pushkarev A.V., Samodurov V.P., Baker J.H., Fenoll Hach-Ali P. et al. (2005). Assessment of the potential ability of phyllosilicates to accumulate and retain tritium in structural OH-groups. Mineralogical Journal, 2, 59-65.

13. Bailey S.W. (1979). Summary and recommendation of the AIPEA Nomenclature committee. Clay Science, 4, 209-220.

14. Bleam W.F. (1990). The nature of cation substitution sites in phyllosilicates. Applied Clay Minerals, 38, 527-536.

15. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. (1962). Rock-forming minerals. (Vol. 3, pp. 317). London: Longmans.

16. Goldansky V. I., Trahtenberg L. I., Flerov V. N. (1989). Tunneling phenomena in Chemical Physics. N.-Y., Gordon and Breach Science Publishers, 328 p.

17. Hammes-Shiffer S. (1998). Mixed quantum-classical dynamics of single proton, multiple proton, and proton-coupled electron transfer reaction in the condensed phase. Advances in Classical Trajectory Methods, 3, 73-119.

18. Fenoll Hach-Ali P., Samodurov V. P. et al. (2001). Tritium accumulation and preservation into phyllosilicates and mineral mixtures for environmental protection. (Annex 1, pp. 1-35). Project INTAS 2001-2166 (TRITAR). Final report.

19. Wersin P., Curti E., Apello C.A.J. (2004). Modelling bentonite – water interactions at high solid/liquid ratios: swelling and diffuse double layer effects. Applied Clay Science, 26, 250-251.

20. Zakn D. & Brickmann J. (1999). Quantum-classical simulation of proton migration in water. Jsr. J. Chem., 39, 3-4, 463-482.

Надійшла до редколегії 29.10.15

V. Pushkarev, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher
E-mail: pushkarevigns@rambler.ru

I. Rudenko, Doctoral Student
E-mail: Irina_mihalovna@ukr.net

V. Skripkin, Research Associate
E-mail: PSRTL@rambler.ru, mailto:PSRTL@rambler.ru
State Institution "Institute of Environmental Geochemistry"
of National Academy of Sciences of Ukraine
34-a Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680 Ukraine

ADSORPTION OF TRITIUM FROM AQUEOUS SOLUTIONS OF TREATED CLAY MINERALS

Experimental research was performed to evaluate the effect of porous and adsorption water on the ability of the clay minerals to extract tritium from aqueous solutions. Two series of experiments were performed in a closed system "clay mineral – tritiated water". In each series representatives of the main structural types of clay minerals are used: kaolinite (structural type 1:1), montmorillonite and saponite (structural type 2:1), palygorskite and sepiolite (ribbon-channel structural type). In the first series of experiments, the clay samples were not thermally treated. In the second series of experiments, the clay samples were thermally treated at 110°C. The duration of the whole experiment was 6 months. The results show that thermal treatment improves the tritium adsorption of the clay minerals. The portion of tritium that is extracted from the tritium water (designated as Kn) was greater in thermally treated clay samples for all the structural types used. Determined are the most efficient extractors of tritium from an aqueous solution, with a value of Kn = 52% (montmorillonite) and 53% (sepiolite). These results clearly demonstrate the benefits of thermal treatment of the clay minerals for increase of their tritium extraction efficiency as the tritium adsorbents in water solutions.

Keywords: porous and adsorption water, kaolinite, montmorillonite, saponite, palygorskite, tritiated water, heat treatment, storage of tritium.

O. Пушкар'ов, канд. геол.-мінералог. наук, пров. наук. співроб.
E-mail: pushkarevigns@rambler.ru

I. Руденко, мол. наук. співроб.
E-mail: Irina_mihalovna@ukr.net

V. Скрипкін, наук. співроб.
E-mail: PSRTL@rambler.ru, mailto:PSRTL@rambler.ru
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища" НАН України
пр. Академіка Палладіна, 34-а, м. Київ, 03680, Україна

АДСОРБУВАННЯ ТРИТІУ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ТЕРМІЧНО ОБРОБЛЕНИМИ ГЛИНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ

Експериментальними дослідженнями виконано оцінку міри впливу порової та адсорбційної води на здатність глинистих мінералів екстрагувати тритій з водних розчинів. З цією метою виконано дві серії експериментів у закритих системах "глинистий мінерал – тритійована вода". У кожній серії використані представники основних структурних типів глинистих мінералів: каолінит (структурний тип 1:1), монтморилоніт і сапоніт (структурний тип 2:1), палігорський і сепіоліт (стрічково-каналний тип структури). У першій серії використано глинисті мінерали, термічно необроблені. У другій серії використано глинисті мінерали усіх структурних типів. Визначено найбільш ефективні екстрактори тритію з водного розчину, з величиною Kn = 52% (монтморилоніт) і 53% (сепіоліт). Результати експериментів обґрунтовано підтверджують раціональність термічної обробки глинистих мінералів для збільшення їхньої ефективності при використанні як адсорбентів тритію з водних розчинів.

Ключові слова: порова й адсорбційна вода, каолінит, монтморилоніт, сапоніт, палігорський, тритійована вода, термічна обробка, запас тритію.

УДК 551; 552; 553.2

О. Грінченко, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

С. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
пр. акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

В. Сидорчук, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: sydvit@gmail.com

Та-Nb МІНЕРАЛІЗАЦІЯ У РІДКІСНОМЕТАЛЬНИХ ПЕГМАТИТАХ СВІТУ ТА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

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

Розглядаються особливості формування проявів Та-Nb мінералізації рідкіснометальних пегматитів світу та Українського щита. Рідкіснометальні пегматити світу з проявами Та-Nb мінералізації характеризуються значним різноманіттям мінералогічних та геохімічних особливостей, внутрішньої будови та петрогенезису. В той же час, нами було встановлено, що типоморфні асоціації рудних мінералів рідкіснометальних пегматитів та Nb/Ta відношення у рудах відображають певний тип гранітоїдів, по яких вони формуються, – граніти S, I та A типу. Серед рідкіснометальних пегматитів виділяються два сімейства. Пегматити LCT-сімейства, які характеризуються збагаченням на літій, цезій і тантал (Nb/Ta = 0,2-2) та формуються переважно по "седиментогенних" гранітоїдах S-типу, та пегматити NYF-сімейства, які характеризуються збагаченням на ніобій (Nb/Ta = 5-10), ітрій та фтор й асоціюють, головним чином, з анорогенними гранітоїдами A-типу. Вважається, що саме присутність флюсуючих компонентів (B, P, F) у материнських джерелах гранітів S-типу та A-типу (на відміну від гранітів I-типу) робить їх найбільш здатними до формування пегматитових розплавів.

У металогенічному аспекті, в західній частині Українського щита можуть бути виділені дві контрастні провінції – Волинська (Волинський мегаблок) та Центральна (Інгульський мегаблок) – поширення полів рідкіснометальних гранітів та пегматитів. У Волинському мегаблоці концентрації рідкісних металів були встановлені в метасоматично змінених лужних гранітах Поліського орогенного поясу, у межах якого поширені граніти I-типу (осницький комплекс) та A-типу (пержанський комплекс). Типоморфними особливостями колумбітів є значення співвідношення Ta/Nb, яке змінюється в діапазоні від 1/10 до 1/15, та Fe/Mn, яке сягає 1/10, а також низькі концентрації елементів-домішок у складі тантало-ніобатів.

Центральна провінція поширення гранітів та асоційованих рідкіснометальних пегматитів характеризується переважним поширенням гранітоїдних утворень S-типу (кіровоградський комплекс). Значення співвідношення Ta/Nb у рідкіснометальних рудопроявах, приурочених до гранітів S-типу, змінюються в межах 1-1,5. Мінеральний та хімічний склад тітанотантало-ніобатів є достатньо складним – у межах одного мінерального агрегату встановлюються фази з широкими діапазонами вмісту Ta та Nb. Колумбіт-танталіти характеризуються переважанням залізистих різновидів (FeO/MnO = 2,80-6,56) та високими концентраціями елементів-домішок.

Типоморфні особливості тантало-ніобатів можуть бути використані для встановлення можливого зв'язку проявів рідкіснометальної мінералізації з генетичними типами материнських гранітів.

Ключові слова: граніти, пегматити, Та-Nb мінералізація.

Вступ. На сучасному рівні більшість рідкіснометальних елементів розглядаються як стратегічні компоненти, що є винятково важливими для економічного розвитку та підтримки обороноздатності будь-якої країни. Перелік потреб у цих компонентах може змінюватися залежно від ступеня економічного розвитку кожної країни, але загалом включає такі елементи, як Li, Ta, Nb, Be, Sb, REE та інші. Використання стратегічних металів не є широко відомим, але саме ці елементи відіграють життєво важливу роль у підтримці сталого розвитку сучасного суспільства.

Виклад основного матеріалу. Рідкіснометальні гранітні пегматити світу з проявами Та-Nb мінералізації характеризуються значним різноманіттям мінералогічних та геохімічних особливостей, внутрішньої будови та петрогенезису [10, 11]. Так, за результатами раніше проведених досліджень серед родовищ рідкіснометальних пегматитів світу було виділено декілька промислових типів – пегматити комплексного типу (Танко, Канада; Грінбушес, Австралія; Бікіта, Зімбабве), пегматити альбітового типу (Водгіна, Австралія) та пегматити альбіт-сподуменового типу (Маунт Касситерит, Австралія) [12].

Незважаючи на наявність геохімічної близькості та практично необмеженого ізоморфізму між ніобієм та танталом, рудні концентрації цих елементів формуються досить часто в різних геологічних умовах. Ніобій домінує (Nb/Ta > 10) в лужних асоціаціях та карбонатитових комплексах (Nb/Ta > 100), де він переважно структурно розміщується в кристалічних ґратках титановмісних силікатів та частково в Ti-Fe оксидах. В особливо багатих рудах

значення вмісту ніобію може сягати 1%. У свою чергу, тантал, маючи кларкові значення у $(1,5-2,5) \cdot 10^{-3}\%$, проявляє переважну схильність до накопичення (до 0,05%) в гранітних рідкіснометальних пегматитах. Серед мінеральних типів "колтанових" (колумбіт-танталітових), танталових та ніобій-танталових руд, що поширені серед рідкіснометальних пегматитів, переважають такі типи: колумбіт-танталітові, танталітові, уджиніт-танталіт-іксіолітові, танталіт-мікролітові відміни, які є характерними для танталоносних (Nb/Ta до 0,2-2) літійових пегматитів, а також мікроліт-колумбіт-танталітові, колумбіт-танталіт-ільменорутил-стрюверітові відміни в танталоносних гранітах (Nb/Ta до 1-2).

Для багатьох пегматитових родовищ світу спостерігаються високі значення Nb/Ta відношення, що залежить від умов формування материнських гранітів. Генетичний зв'язок Nb-Ta мінералізації з вміщувачами їх товщами є важливим фактором в оцінці потенційної рудоносності асоційованих з ними рідкіснометальних пегматитів. Було встановлено, що склад пегматитів та Nb/Ta відношення у рудах відображають певний тип гранітоїдів, з якими вони асоційовані – граніти S, I та A типу [13, 14]. У свою чергу, серед рідкіснометальних пегматитів виділяються два сімейства. Пегматити LCT-сімейства, які збагачені на літій, цезій і тантал (Nb/Ta = 0,2-2) та формуються переважно по "осадових" гранітоїдах S-типу. Пегматити NYF-сімейства характеризуються збагаченням на ніобій (Nb/Ta = 5-10), ітрій та фтор та асоціюють, головним чином, з анорогенними гранітоїдами A-типу, геодинамічні умови формування

яких зазвичай пов'язують з обстановками гарячих точок (мантіїних плюмів) або зон розтягу (рифтів) у межах континентів [9]. Граніти І-типу, які переважно формуються по вивержених породах основного складу, характеризуються поширенням проявів мінералізації кольорових металів. Ці гранітоїди можуть генерувати великі обсяги кварцових жил, але не формують значні за розмірами пегматитові поля. Загалом вважається, що метаморфзовані осадові відклади, при ультраметаморфічному перетворенні яких формуються граніти S-типу, є особливо схильними до генерації пегматитових розплавів. Саме присутність флюсуючих компонентів (В, Р, F) у материнських джерелах генерації гранітів S-типу (на відміну від гранітів І-типу) робить їх найбільш сприятливими для формування пегматит-генеруючих розплавів.

Особливо важливу роль серед промислових рідкіснометалевих пегматитів світу відіграють саме пегматити LCT-сімейства (до 90% родовищ світу), які формуються по "седиментогенних" гранітоїдах S-типу [12]. Саме цей тип пегматитів містить надзвичайно високі концентрації Rb, Cs, Be, Ta, Nb і Sn, так само, як і підвищені рівні флюсуючих компонентів (В, Р, F). Так наприклад, комплексне пегматитове родовище Танко (Канада) характеризується суттєвими значеннями вмісту рудних компонентів (г/т) – до 13900 Li, 236000 Cs, 28900 Rb, понад 360 Be та 1200 Ta. Коефіцієнти збагачення деяких елементів можуть сягати значень, більш ніж у 100000, порівняно з їхніми валовими концентраціями у континентальній корі (16 г/т Li, 2 г/т Cs, 49 г/т Rb, 1,9 г/т Be, 1,7 г/т Ta [17]).

Результати вивчення відомих світових родовищ вказують на те, що ступінь диференціації пегматитів може суттєво впливати на просторове розміщення проявів рідкіснометалевих мінералізацій в межах самих пегматитових тіл. Так наприклад, в гігантському пегматитовому родовищі Грінбушес (Австралія) танталова мінералізація проявлена в місцях, які за своїм розташуванням відокремлені від проявів Li мінералізації. Найкращим вивченим прикладом рідкіснометалевих пегматитів LCT-сімейства вважається пегматитове родовище Танко (Канада), в межах якого було встановлено до дев'яти рудно-мінералогічних зон, з яких видобувалися певні корисні копалини [10-12]. Видобуток літію здійснювався переважно з Верхньої проміжної зони, видобуток цезію із зони поширення поллукиту, а видобуток танталу – переважно з апліт-альбітової зони. Ці факти розглядаються як прояв різного характеру поведінки несумісних рідкіснометалевих елементів (елементи групи HFSE та LILE) та існування різних факторів контролю рідкіснометалевих мінералізацій, Ta та Li зокрема.

Більшість корисних компонентів рідкіснометалевих пегматитів відносяться до несумісних елементів, які показують тенденцію щодо невходження до структури більшості породоутворюючих мінералів та їх накопичення на найбільш пізніх стадіях еволюції гранітоїдних систем. Проте поведінка певних несумісних елементів може суттєво різнитися. Загалом, несумісні елементи можуть бути розподілені на дві групи – крупно-іонних літофільних елементів (елементи LILE – *large ion lithophile elements*) та високозарядних елементів (елементи HFSE – *high field strength elements*). Li, Rb та Cs відносяться до елементів групи LILE, іони яких є більшими за розмірами будь-яких катіонів більшості породоутворюючих мінералів. Вони є несумісними літофільними елементами, які зазвичай мають тенденцію до накопичення на пізніх стадіях еволюції гранітоїдних систем. Елементи групи LILE розглядаються як найбільш чутливі до прояву накладених процесів постмагматичних змін. Корисною ознакою значних за розмірами та

диференційованих пегматитів LCT типу є те, що породи, які вміщують пегматитові тіла, інтенсивно метасоматизовані. Саме явище розсіювання лужних елементів у метасоматичних ореолах навколо пегматитів використовується як важливий критерій їх пошуків. Літій формує найширші ореоли розсіювання навколо пегматитів, розміри яких можуть перевищувати відстані у понад 100 м, у той самий час, як масштаб розсіювання Rb і Cs є більш обмеженим. Біотит є найбільш типовим метасоматичним мінералом, який зустрічається у вміщуючих породах пегматитів. У структурі біотиту Li може ізоморфно заміщувати Mg, а Rb та Cs – K, саме формування "метасоматичного" біотиту відповідає за формування значних за розмірами ореолів розсіювання Li-Rb-Cs мінералізації навколо пегматитів LCT-сімейства [16].

На відміну від цього, несумісні елементи Ta і Nb відносяться до групи високозарядних елементів (HFSE), для яких характерні високі значення відношення заряду до радіусу іону, а характер їхньої поведінки загалом відрізняється від поведінки Li, Rb і Cs. Елементи групи HFSE зазвичай є не мобільними – тобто, вони є переважно стійкими до процесів метаморфічних перетворень і накладених метасоматичних змін. Хоча тантал і ніобій є вельми несумісними для головних породоутворюючих мінералів (кварцу та польових шпатів), проте вони характеризуються тенденцією щодо накопичення у мусковіті та у Ti-вміщуючих мінеральних фазах, особливо – рутилі та сфені [15].

У той же час, процеси, які відповідають за формування промислових проявів Ta-Nb мінералізації, залишаються остаточно не з'ясованими. Загалом існують дві протилежні точки зору – безпосередньої кристалізації рудних мінералів Nb та Ta з розплаву та їх формування за рахунок вторинних змін при суттєвій ролі процесів гідротермально-метасоматичних перетворень. Такі характерні ознаки, як (1) низькі значення розчинності оксидів Nb та Ta у водних флюїдах, (2) мінералогічно-структурні явища тісного проростання первинно магматичних мінералів (циркону та апатиту) з тантало-ніобатами та (3) виключна роль летких компонентів (В, Р, F та, навіть, Li), які збільшують ступінь розчинності тантало-ніобатів у пегматитовому розплаві, – схильють переважну більшість дослідників до визнання ідеї магматогенного походження більшості Ta-Nb різновидів [8]. Проте, хоча постмагматичні процеси й не відіграють ключову роль у формуванні проявів Ta та Nb мінералізації, припускається, що саме вони можуть бути важливими факторами контролю просторового розташування й перерозподілу рудної мінералізації – при можливих процесах привнесення двовалентних катіонів Fe, Mn і Ca, які є складовими компонентами рудних мінералів групи колумбіт-танталіту, водгініту та мікроліту [18].

Рідкіснометалеві пегматити Українського щита. Прояви Ta-Nb мінералізації, асоційовані з рідкіснометалевими пегматитами, були встановлені в межах трьох мегаблоків Українського щита – Волинського, Приазовського та Інгільського [4].

У Волинському мегаблоці раніше було виділено чотири поля поширення рідкіснометалевих пегматитів (Папірнянське, Городське, Товстовське і Кочерівське), які просторо розташовані в межах Кочерівського синклінію. Вважається, що рідкіснометалеві пегматити даного регіону асоційовані з гранітами бистріївського типу (житомирський комплекс). Поширення в межах синклінію метаосадових утворень (високоглиноземисті гнейси та інші), рідкіснометалеві геохімічна спеціалізація бистріївських гранітів (граніти S-типу) та присутність у пегматитах кварц-мусковітової асоціації можуть розглядатися як фактори, сприятливі для формування

проявів тантало-ніобатів, що підтверджується значною кількістю геохімічних аномалій, встановлених у межах цього регіону.

У Приазовському мегаблоці прояви тантал-ніобієвої мінералізації були встановлені в межах Сорокинської зеленокам'яної структури (родовище Балка Крута) та Єлисеївського поля диференційованих пегматитів, просторово приурочених до Салтичанського граніто-гнейсового куполу.

Мікроклін-альбітові, альбітові й альбіт-сподуменові пегматити родовища Балка Крута характеризуються зональною будовою у великих тілах пегматитів. Рудні мінерали представлені колумбіт-танталітом, цирколітом, монацитом й ксенотимом. Слюдиисто(мусковіт)-керамічні пегматити збагачені шерлом, тоді як з рідкіснометалевими мінералами асоціюють зелений і поліхромний турмаліни, блакитнувато-зелений апатит, магнезіально-залізіста слюда з рідкісними лугами (Li, Rb, Cs) і Li-амфібол [4]. Суттєвий ступінь диференціації пегматитових утворень обумовив формування проявів рідкіснометалевої мінералізації з формуванням геологічних об'єктів промислового значення (родовище Єлисеївське).

Інгульський мегаблок. На сьогодні серед рудоносних структур Українського щита Шполянсько-Ташлицький рудний район розглядається як найбільш перспективний з точки зору можливостей виявлення промислових концентрацій танталу і ніобію. Район розташований у північно-західній частині Інгульського мегаблоку, в геологічній будові якого переважають ультраметаморфічні граніти кіровоградського комплексу та метаморфічні утворення інгуло-інгулецької серії. Головною тектонічною структурою, яка контролює рідкіснометалеве зрудення, є Звенигородсько-Ганнівська розломна зона. При проведенні металогенічних побудов у межах рудного району можуть бути виділені два поля поширення проявів рідкіснометалевої мінералізації (Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn) – Полохівське та Станкуватське. Родовища та численні рудопрояви рідкісних металів району формувалися в досить схожих геолого-тектонічних умовах і мають багато спільних рис – як у речовинному складі вміщуючих порід, так і в мінералогічному складі рудної мінералізації. В той же час, сама Ta-Nb мінералізація проявлена досить нерівномірно й утворює рудні концентрації лише на деяких ділянках окремих родовищ літію, та формує власні рудопрояви. За результатами картування рудних мінеральних асоціацій на рудних об'єктах, не виключається можливість існування певної рудної зональності в пегматитах – у центральних частинах формується петалітова або петаліт-сподуменова мінералізація, а в зонах викинування пегматитових тіл відбувалася концентрація тітано-тантало-ніобатів.

Полохівське рудне поле, окрім однойменного родовища літію, включає рудопрояви Мостовий та декілька дрібніших рудоносних об'єктів (Копанки, Вись, Ярошівка), у межах яких поширена, головним чином, Ta-Nb мінералізація. Рудні об'єкти Станкуватського рудного поля (Липнязький, Новоодеський рудопрояви, родовища літію: Станкуватське, Надія) просторово тяжіють до західного, північно-західного екзоконтакту Липнязького гранітоїдного масиву та Михайлівської тектонічної зони, яка, в свою чергу, розглядається як один із розгалужених фрагментів згаданої вище Звенигородсько-Ганнівської розломної структури. Найбільш багата Ta-Nb мінералізація приурочена до жил альбіт-мікроклінових метасоматитів і метасоматично змінених пегматоїдних гранітів.

Накопичення достатньої кількості даних щодо особливостей прояву рудної мінералізації тантало-ніобатів у межах Західної частини Українського щита вказує на наявність характерних ознак типомімізму рудних міне-

ралів, які прослідковуються як у межах окремих рудних тіл, так і на регіональному масштабі в цілому. Так наприклад, у металогенічному аспекті, в західній частині Українського щита можуть бути виділені дві контрастні провінції – Волинська (Волинський мегаблок) та Центральна (Інгульський мегаблок) – поширення полів рідкіснометалевих гранітів і пегматитів, геохімічно спеціалізованих на Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sn, Be. У Волинському мегаблоці, який розглядається деякими дослідниками як зона тектоно-магматичної активізації, сформована внаслідок колізії Фенноскандинавського й Сарматського сегментів Східно-Європейської платформи [19], суттєві концентрації рідкісних металів були встановлені в метасоматично змінених лужних гранітах Поліського орогенного поясу [2]. Вік поширених у межах поясу гранітів І-типу (осницький комплекс) та А-типу (пержанський комплекс) і накладених на них процесів грейзенізації, альбітизації й окварцювання змінюється в інтервалі часу від 2000 до 1730 млн р. Самі ж граніти характеризуються підвищеними концентраціями фтору й широкою присутністю магнетиту серед асоціацій рудних мінералів. У межах регіону було виявлено численні прояви колумбіт-танталової мінералізації, серед типоморфних особливостей якої є відношення Ta/Nb, що змінюється в діапазоні від 1/10 до 1/15, та Fe/Mn, яке сягає 1/10, а також майже постійна відсутність будь-яких елементів-домішок у хімічному складі тантало-ніобатів (таких, як W, Ti, Sn, що є характерною ознакою проявів мінералізації Центральної провінції). В самих колумбіт-танталітових агрегатах спостерігається відсутність будь-якої вираженої внутрішньої зональності та неоднорідності (мозаїчності) структур.

Центральна провінція гранітів та асоційованих рідкіснометалевих пегматитів просторово розміщується в межах західної частини Інгульського мегаблоку (Братський синкліній) і, як вважається деякими дослідниками, геодинамічно пов'язана з формуванням Кіровоградського орогенного поясу [3]. У межах Братського синклінорію породи, які містять Ta-Nb зруденіння, представлені, переважно, "осадовими" гранітами S-типу, збагаченими на калій, пересиченими глиноземом з низькими значеннями вмісту слюди (мусковіту) та фтору. Граніти S-типу даного регіону характеризуються переважною присутністю серед рудних асоціацій ільменіту (на відміну від І-гранітів, для яких характерний магнетит). Цей факт може вказувати на загальне панування відновних умов у місцях генерації гранітної магми, що, у свою чергу, може бути обумовлене первинним збагаченням метаморфізованих осадових товщ на вуглецеву речовину (графіт, антроксоліт), присутність якої постійно відмічається у гнейсових товщах Братського синклінорію [6]. Зазвичай значення співвідношення Ta/Nb у рідкіснометалевих рудопроявах регіону, приурочених до гранітів S-типу, змінюються в межах 1-1,5. Мінеральний та хімічний склад проявів рудної мінералізації тітано-тантало-ніобатів є достатньо складним. Це може бути обумовлено схильністю Nb та Ta до утворення широкого діапазону мінеральних фаз, які входять до серії твердих розчинів, та додаткової здатності мінералів групи колумбіт-танталіту $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_5$ та ільменорутил-стрювериту $(\text{Ti,Nb,Ta})\text{O}_2$ утримувати у своєму складі широкий діапазон елементів-домішок. У той же час, тантало-ніобати за своєю поширеністю в рудах часто поступаються мінералам групи ільменорутил-стрювериту. Мінерали групи колумбіт-танталіту, в переважній своїй більшості, відрізняються неоднорідною внутрішньою будовою – наявною зональністю та мозаїчністю структур. У межах одного складного агрегату встановлюються фази з широкими діапазонами

вмісту Ta_2O_5 – від 9,80 до 71,0% та Nb_2O_5 – від 10,6 до 70,1%. Аналітичні дані свідчать про переважання залізистих різновидів ($\text{FeO}/\text{MnO} = 2,80\text{--}6,56$, середні значення), а самі колумбіт-танталіти характеризуються високими концентраціями елементів-домішок (%): TiO_2 – до 5,88, WO_3 – до 3,70, SnO_2 – до 9,20, Sc_2O_3 – 5,40. Поведінка мінералів групи ільменорутит-стріверіту є багато в чому подібною. За даними мікрозондового аналізу, в складі мінералів групи переважають домішки SnO_2 – до 3,1% та V_2O_5 – до 5,05%. У той же час, окрім зазначених вище мінералів рідкіснометальні пегматити Центральноукраїнської провінції характеризуються присутністю інших мінеральних фаз – тапіоліту FeTa_2O_6 , іксіоліту $(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Sn}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti})_4\text{O}_8$, мінералів групи пірохлору (мікроліт $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{V}, \text{OH}, \text{F})$). Супутні рудні мінерали представлені касітеритом, нігеритом, ганітом, уранінітом, хризобериллом, станіном, сфалеритом та халькопіритом.

Протягом довгого часу вік прояву рідкіснометальної мінералізації Центральноукраїнської металогенічної провінції вважався дискусійним. Певний період у металогенічних побудовах фігурувала гіпотетична дата у 2,3 млрд р, отримана із результатами термодинамічного Pb-Pb методу датування [5]. Інші дослідники вважали, що час формування рудної мінералізації слід синхронізувати з процесами укорінення Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківгранітного масиву [1]. Нам вперше вдалося встановити вік формування Ta-Nb мінералізації шляхом безпосереднього датування тантало-ніобатів із визначенням співвідношень $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ та визначення абсолютного віку "ізохронним" методом. Незважаючи на той факт, що гранітні пегматити могли зазнавати інтенсивних процесів динамо-метаморфічного та автометасоматичного перетворення [6], було надійно встановлено, що вік формування Ta-Nb мінералізації не перевищує вікову межу у 2,0 млрд р.

Висновки. Виходячи з наведеного вище, можна зробити висновки про те, що характерні особливості формування проявів Nb-Ta мінералізації в гранітах та асоційованих з ними рідкіснометальних пегматитах світу та Українського щита є достатньо подібними. В той же час, рудно-мінералогічний склад пегматитів та значення Nb/Ta співвідношення "колтанових" руд відображають певний генетичний тип гранітоїдів (граніти S, I та A типу), з якими вони асоційовані. Найбільш високі концентрації танталових руд спостерігаються саме серед "седиментогенних" гранітів S-типу. Головні типоморфні особливості тантало-ніобатів, серед яких можна виділити такі, як присутність певних асоціацій рудних мінералів, значення співвідношення Ta/Nb та наявність/відсутність характерних елементів-домішок, вказують на просторовий та генетичний зв'язок рідкіснометальних пегматитів з певними генетичними типами материнських гранітів. Цей факт може бути використаний для подальшої оптимізації геолого-пошукових робіт, спрямованих на виявлення додаткових ресурсів рідкіснометальної сировини, стратегічно важливої як для більшості країн світу, так і України зокрема.

Список використаних джерел

- Безвинний В. П. Рідкіснометальне та золоте зруденіння і метасоматичні процеси Петроострівського рудного поля / В. П. Безвинний // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2005. – № 1. – С. 82–84.
- Бухарев В. П. Полесский орогенный пояс – автономная региональная структура в фундаменте Восточно-Европейской платформы / В. П. Бухарев // Геологический журнал. – 1988. – № 3. – С. 99–105.
- Кіровоградський орогенний пояс. Будова та еволюція / В. М. Ключков, Ю. К. Пійяр, О. М. Шевченко і др. // Мінеральні ресурси України. – 2006. – № 2. – С. 18–22.
- Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины [Текст]. Т. 1. Металлические полезные ископаемые / Д. С. Гурский, К. Е.

Есипчук, В. И. Калинин и др. – Киев-Львов: Изд-во "Центр Европы", 2005. – 783 с.

5. Минералогические особенности и условия образования литиевых пегматитов Кировоградского блока (Украинский щит) / Г. К. Еременко, Б. Н. Иванов, Н. А. и др. // Минералогический журнал. – 1996. – Т. 18, № 1. – С. 48–57.

6. Основні типи рідкіснометальних родовищ і рудопроявів західної частини Кіровоградського блоку / Б. Н. Иванов, О. Ф. Маківчук, В. М. Бугаєнко та ін. // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2002. – № 1–2. – С. 101–107.

7. Щербаків І. Б. Петрологія Українського щита / І. Б. Щербаків. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.

8. Bartels A. Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. / A. Bartels, F. Holtz, R. L. Linnen // American Mineralogist. – 2010. – Vol. 95. – P. 537–544.

9. Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects / B. Bonin // Lithos. – 2007. – Vol. 97. – P. 1–29.

10. Cerny P. Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits / P. Cerny // Geoscience Canada. – 1989. – Vol. 18, № 2. – P. 49–67.

11. Cerny P. Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional to global environments and petrogenesis / P. Cerny // Geoscience Canada. – 1989. – Vol. 18, № 2. – P. 68–81.

12. Cerny P. The classification of granitic pegmatites revisited / P. Cerny, T. S. Ercit // Canadian Mineralogist. – 2005. – Vol. 43. – P. 2005–2026.

13. Chappell B. W. Two contrasting granite types: 25 years later / B. W. Chappell, A. J. R. White // Australian Journal of Earth Sciences. – 2001. – Vol. 48. – P. 489–499.

14. Eby G. N. A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. / G. N. Eby // Lithos. – 1990. – Vol. 26. – P. 115–134.

15. Linnen R. L. The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and F: Constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites / R. L. Linnen // Economic Geology. – 1998. – Vol. 93. – P. 1013–1025.

16. London D. Pegmatites / D. London. – Canadian Mineralogist Special Publication 10, 2008. – 347 p.

17. Rudnick R. L. Composition of continental crust / R. L. Rudnick, S. Gao; Ed by R. L. Rudnick // Treatise on Geochemistry. – 2004. – Vol. 3. – P. 1–64.

18. Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: Magmatic versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada / M. Van Lichtervelde, S. Salvi, D. Beziat, R. L. Linnen // Economic Geology. – 2007. – Vol. 102. – P. 257–276.

19. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia / S. V. Bogdanova, B. Bingen, R. Gorbatshev et al. // Precambrian Research. – 2008. – Vol. 160. – P. 23–45.

References

- Bezvinnyy, V.P. (2005). Rare-metal and gold mineralization and metasomatic processes of Petroostrov ore field. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1, 82–84. [in Ukrainian].
- Bucharev, V.P. (1988). Polesky orogenic belt – separate regional structure in the basement of East European platform. Geological Journal, 3, 99–105. [in Russian].
- Klochkov, V.M., Piyar, Yu.K., Shevchenko, O.M., Klochkov, S.V., Pylpuch, O.M. (2006). Kirovogradsky orogenic belt. Structure and evolution. Mineral resources of Ukraine, 2, 18–22. [in Ukrainian].
- Gursky, D.S., Esipchuk K.E., Kalinin V.I., Kulish E.A., Nechaev S.V. et al. (2005). Metallic and non-metallic useful minerals of Ukraine. Vol. 1. Metallic usefull minerals. Kyiv-Lviv: Publishing house "Center of Europe", 783 p. [in Russian].
- 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, 18(1), 48–57. [in Russian].
- Ivanov, B.N., Makivchuk, O.F., Bugaenko, V.M., Lysenko, V.V., Eremenko, G.K. (2002). Main types of rare-metal deposits and ore manifestations of western part of Kirovograd block. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1–2, 101–107. [in Ukrainian].
- Scherbakov, I.B. (2005). Petrology of Ukrainian Shield. Lvov: ZUKC, 366. [in Russian].
- Bartels, A., Holtz, F., Linnen, R.L. (2010). Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. American Mineralogist, 95, 537–544.
- Bonin, B. (2007). A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. Lithos, 97, 1–29.
- Cerny, P. (1989a). Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Geoscience Canada, 18(2), 49–67.
- Cerny, P. (1989b). Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. Geoscience Canada, 18(2), 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.
- Eby, G.N. (1990). A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26, 115–134.
- Linnen, R.L. (1998). The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and F: Constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites. Economic Geology, 93, 1013–1025.

16. London, D. (2008). Pegmatites. Canadian Mineralogist Special Publication, 10, 347.
17. Rudnick, R.L., Gao, S. (2004). Composition of continental crust. In: Rudnick R.L. (Ed). Treatise on Geochemistry, 3, 1-64.
18. Van Lichtervelde, M., Salvi, S., Beziat, D., Linnen, R.L. (2007). Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: Magmatic

versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada. Economic Geology, 102, 257-276.

19. Bogdanova, S.V., Bingen, B., Gorbatschev, R., Kheraskova, T.N., Kozlov, V.I. et al. (2008). The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 160, 23-45.

Надійшла до редколегії 03.12.15

O. Grinchenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua,
S. Bondarenko, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher
Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation
National Academy of Sciences of Ukraine
34, Acad. Palladina Ave., Kyiv – 142, 03680 Ukraine
E-mail: sbond@igmof.gov.ua,
V. Sydoruk, Postgraduate Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

Ta-Nb MINERALIZATION IN RARE-METAL PEGMATITES OF THE WORLD AND UKRAINIAN SHIELD

Features of formation of Ta-Nb mineralization in rare-metal pegmatites of the world and Ukrainian Shield are considered. Rare-metal pegmatites of the world with Ta-Nb mineralization are characterised by large variety of mineralogical and geochemical features, internal structure and petrogenesis. At the same time it has been established that typical ore mineral associations of rare-metal pegmatites and Nb/Ta ratio in ores indicate certain type of granitoids on which they are formed – granites of S, I and A type. Among rare-metal pegmatites two families are distinguished. LCT-family pegmatites, which are characterised by enrichment on lithium, caesium and tantalum ($Nb/Ta = 0,2-2$), are formed mainly after a "sedimentogenic" granitoids of S-type. NYF-family pegmatites, which are characterised by enrichment in niobium ($Nb/Ta = 5-10$), yttrium and fluorine, are mainly associated with anorogenic A-type granitoids. It is considered, that presence of fluxing components (B, P, F) in parental sources of S-type and A-type granites (unlike I-type granites) make them to be the most favorable for formation of pegmatitic melts.

As to metallogenic aspect two different provinces – Volynsk (Volynsk megablock) and Central (Ingul megablock) – of distributions of rare-metal granites and pegmatites can be distinguished in western part of the Ukrainian Shield. In the Volynsk megablock of concentration of rare metals have been established in metasomatically altered alkaline granites of Polesky orogenic belt, in which limits I-type granites (осниці комплекс) and A-type (пержанський комплекс) are distributed. Typomorphic features of columbites are represented by values of Ta/Nb ratio which ranges from 1/10 to 1/15 and Fe/Mn one which reaches 1/10 as well as low contents of admixture elements in composition of tantalum-niobates.

The Central province of granites and associated rare-metal pegmatites is characterised by predominant distribution of granitic formations of S-type (Кировоградський комплекс). Values of Ta/Nb ratio in rare-metal ore manifestations confined to S-type granites range within 1-1,5. Mineralogical and chemical composition of titanium-tantalum-niobates is complex enough – within one mineral aggregate phases with wide range of Ta and Nb are established. Columbite-tantalites are characterised by predominance of ferruginous varieties ($Fe/Mn = 2,80-6,56$) and high contents of admixture elements.

Typomorphic features of tantalum-niobates can be used for establishing possible relations between manifestations of rare-metal mineralization and genetic types of parental granites.

Keywords: Granites, pegmatites, Ta-Nb mineralization.

А. Гринченко, канд. геол.-минералог. наук, доц.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

С. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. науч. сотрудник
Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины
пр. Палладина, 34, г. Киев-142, 03680, Украина
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

В. Сидорчук, асп.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: sydvit@gmail.com

Ta-Nb МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТАХ МИРА И УКРАИНСКОГО ЩИТА

Рассматриваются особенности формирования проявлений Ta-Nb минерализации редкометальных пегматитов мира и Украинского щита. Редкометальные пегматиты мира с проявлениями Ta-Nb минерализации характеризуются значительным многообразием минералогических и геохимических особенностей внутреннего строения и петрогенезиса. В то же время, было установлено, что типоморфные ассоциации рудных минералов редкометальных пегматитов и Nb/Ta отношение в рудах отображают определенный тип гранитоидов, по которым они формируются – граниты S, I и A типа. Среди редкометальных пегматитов выделяется два семейства. Пегматиты LCT-семейства, которые характеризуются обогащением на литий, цезий и тантал ($Nb/Ta = 0,2-2$) и формируются преимущественно по "седиментогенным" гранитоидам S-типа, и пегматиты NYF-семейства, которые характеризуются обогащением на ниобий ($Nb/Ta = 5-10$), иттрий и фтор и ассоциируют, главным образом, с анорогенными гранитоидами A-типа. Считается, что присутствие флюирующих компонентов (B, P, F) в материнских источниках гранитов S-типа и A-типа (в отличие от гранитов I-типа) делает их наиболее способными для формирования пегматитовых расплавов.

В металлогеническом аспекте в западной части Украинского щита могут быть выделены две контрастных провинции – Волынская (Волынский мегаблок) и Центральная (Игульский мегаблок) – распространения полей редкометальных гранитов и пегматитов. В Волынском мегаблоке концентрации редких металлов были установлены в метасоматически измененных щелочных гранитах Полесского орогенного пояса, в пределах которого распространены граниты I-типа (осницкий комплекс) и A-типа (пержанский комплекс). Типоморфными особенностями колумбитов являются значения отношения Ta/Nb, изменяющиеся в диапазоне от 1/10 до 1/15, и Fe/Mn, достигающее 1/10, а также низкие концентрации элементов-примесей в составе тантало-ниобатов.

Центральная провинция гранитов и ассоциированных редкометальных пегматитов характеризуется преобладающим распространением гранитоидных образований S-типа (кировоградский комплекс). Значение соотношения Ta/Nb в редкометальных рудопроявлениях, приуроченных к гранитам S-типа, изменяется в пределах 1-1,5. Минеральный и химический состав титано-тантало-ниобатов является достаточно сложным – в пределах одного минерального агрегата устанавливаются фазы с широкими диапазонами содержания Ta и Nb. Колумбит-танталиты характеризуются преобладанием железистых разновидностей ($Fe/Mn = 2,80-6,56$) и высокими концентрациями элементов-примесей.

Типоморфные особенности тантало-ниобатов могут быть использованы для установления возможной связи проявлений редкометальной минерализации с генетическими типами материнских гранитов.

Ключевые слова: граниты, пегматиты, Ta-Nb минерализация.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.832+634.12

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: ks_bondar@ukr.netІ. Цюпа, інж. 1 кат.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаА. Король, пров. хімік
Центральна геофізична обсерваторія
пр. Науки, 39, корп. 2, м. Київ, 03028, Україна**МАГНІТНИЙ МЕТОД ПРИ ОЦІНЦІ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗАПОРІЖЖЯ:
ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ***(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук О.І. Меньшовим)*

Робота присвячена вивченню магнітних властивостей та вмісту важких металів у ґрунтах м. Запоріжжя – потужного промислового центру. В ході дослідження встановлено, що низькочастотна магнітна сприйнятливість (χ_{LF}) ґрунтів міста змінюється від 61×10^{-8} до 4087×10^{-8} м³/кг при медіані 271×10^{-8} м³/кг, а частотна залежність магнітної сприйнятливості (K_{fd}) ґрунтів Запоріжжя становить 0-13,3% при медіані 2,0%. Низькі χ_{LF} та високі значення K_{fd} , притаманні ґрунтам у природному стані, спостерігаються на правобережній західній околиці міста, а низькі значення K_{fd} <2% при $>10^{-5}$ м³/кг пов'язані з промисловою зоною, де сконцентровані заводи металургійного комплексу. Визначені кореляційні зв'язки між магнітними параметрами та вмістом важких металів у ґрунтах дозволяють рекомендувати магнітний метод для діагностики й моніторингу екологічного стану м. Запоріжжя.

Побудовані карти-схеми просторових розподілів χ_{LF} та показника накопичення забруднення (PLI) показують, що р. Дніпро перешкоджає розповсюдженню пило-газового забруднення на правобережну частину міста.

Ключові слова: низькочастотна магнітна сприйнятливість ґрунтів, важкі метали, показник накопичення забруднення, Запоріжжя.

Вступ. Запоріжжя – потужний промисловий центр, де на відносно невеликій площі сконцентровано ряд підприємств чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, атомної енергетики, хімії, машинобудування тощо. Неминучим наслідком промислового розвитку є тенденція до забруднення компонентів природного середовища, деструкції ґрунтів, негативного впливу на здоров'я та якість життя людей.

За оцінкою Департаменту екології та природних ресурсів облдержадміністрації за останні роки екологічна ситуація в місті не покращується, за перше півріччя 2015 року спостерігається збільшення обсягів викидів основних забруднювачів [26].

Постановка проблеми. Місто Запоріжжя потребує оцінки та постійного ведення локального моніторингу екологічного стану навколишнього середовища. Методичне забезпечення контролю та прогнозу забруднення районів міських територій представляє ряд не повністю взаємопов'язаних регламентів, процедур та систем оцінок екологічної безпеки, що не дозволяє однозначно інтерпретувати якість природного середовища. Не повною мірою використовуються можливості сучасних засобів математичного моделювання для прогнозу забруднення міських територій промисловими підприємствами [26]. Існує потреба у розробці комплексної методології картування, оцінки й моніторингу стану ґрунтового покриву в місті на підставі даних експресдіагностики. З цієї метою успішно може використовуватися магнітний метод, застосування якого має ґрунтуватися на надійних засадах прямих екогеохімічних вимірювань. Суть магнітного методу полягає у вивченні розподілу магнітних властивостей (найчастіше вимірюється магнітна сприйнятливість) у ґрунтах та інших компонентах довкілля за допомогою польових та лабораторних приладів [6]. Підставою для його застосування на регіональному рівні є доведена наявність значущих зв'язків між магнітними параметрами та вмістом екотоксикантів, що вказує на спільне джерело магнітного і геохімічного забруднення та характеризує його.

Магнітна сприйнятливість, що характеризує концентрацію магнітних мінералів у ґрунтовому покриві, є важливим та інформативним показником техногенного навантаження на території. Внаслідок викидів промислових та теплоенергетичних підприємств, магнітні частинки потрапляють з атмосферними опадами, пилом, аерозолями до ґрунтів. У ґрунтах ці частинки накопичуються, трансформуються та здатні залишатися там ще тривалий час, навіть якщо об'єми виробництва заводів-політантів зменшуються.

На сьогодні напрацьований значний досвід застосування магнітного методу при екологічних дослідженнях на територіях металургійних районів [6, 7, 11, 13-14, 27].

Зокрема, в роботах [7, 11] за картами магнітної сприйнятливості визначений ареал забруднення ґрунтового покриву у провінції Верхня Сілезія, агломерації Катовіце (Польща) – потужному індустріальному вузлі з найвищою щільністю важкої промисловості в Європі, який включає, 2800 підприємств, серед них 17 металургійних заводів і 16 електростанцій. У багатьох роботах повідомляється про кореляцію магнітних параметрів з вмістом важких металів. Зокрема, у Катовіце коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом Zn та Pb зростають зі збільшенням обсягів пилових викидів [6]. У Північній Астурії (Іспанія) коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістами Cu, Cd, Pb, Zn збільшуються з наближенням до промислових об'єктів, які емітують у повітря техногенні аерозолі [14]. Магнітна сприйнятливість забруднених важкими металами (ВМ) ґрунтів Удмуртії має міцний зв'язок з металами Pb, Cu, Zn, Cr та Ni [27]. Прямий зв'язок вмісту ВМ зі сприйнятливістю ґрунтів встановлений у м. Чусовий (Середній Урал, РФ), що дозволяє використовувати капаметрію для картування забрудненості ґрунтів Ni, Cu, Zn, Cr, Mn [13].

Мета роботи. За допомогою геохімічних даних обґрунтувати застосування магнітного методу при оцінці та моніторингу забруднення ґрунтового покриву м. Запоріжжя.

Територія дослідження. Запоріжжя розташоване на півдні Східноєвропейської рівнини у степовій зоні з характерним рівнинним ландшафтом. Ґрунти міста відносяться до типу реграданих ґрунтів на лесових породах, представлені чорноземами звичайними малогумусними. Відсоток площі природних елементів дуже низький (10-20% від загальної площі кожного виду ландшафту) [22].

Клімат як чинник виникнення екологічних проблем можна охарактеризувати як м'який та комфортний для населення за характеристиками середньорічних температур (+8,2-9°C), великою кількістю сонячних днів. Разом з тим, недостатня кількість опадів (у середньому, 450 мм на рік) сприяє задушливості, що негативно впливає на людський організм, запиленості та забрудненню атмосфери.

Територія міста розділена на дві частини р. Дніпро. Водні ресурси р. Дніпро є основним джерелом питного водопостачання м. Запоріжжя та промислових підприємств, зокрема гірничо-металургійного комплексу, енергетичної галузі тощо.

Запоріжжя відноситься до Придніпровського машинобудівельного району, з провідними галузями важкого та середнього машинобудування: станків, транспортних, енергетичних, електротехнічних та сільськогосподарських машин та техніки.

Найбільшу кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферу здійснюють 11 основних промислових підприємств, обсяги викидів яких за 2014 р. склали [18]:

- БАТ "Запоріжсталь" – 59,288 тис т/рік (з них: *речовини у вигляді суспендованих твердих частинок* – 4,155 тис т/рік; *сполук азоту та сірки* – 8,065 тис т/рік);
- ПАТ "Запорізький завод феросплавів" – 15,709 тис т/рік (3,901 тис т/рік; 1,815 тис т/рік);
- ПАТ "Запоріжжкокс" – 2,996 тис т/рік (0,341 тис т/рік; 1,205 тис т/рік);
- ПАТ "Запорізький абразивний комбінат" – 1,890 тис т/рік (0,812 тис т/рік; 0,209 тис т/рік);
- ПАТ "Український графіт" – 1,285 тис т/рік (0,203 тис т/рік; 0,425 тис т/рік);
- ПАТ "Дніпроспецсталь" – 683 т/рік (115 т/рік; 242 т/рік);
- ДП "Запорізький титано – магнієвий комбінат" – 0,853 тис т/рік (0,103 тис т/рік; 0,14 тис т/рік);
- ПАТ "Запоріжвогнетрив" – 365 т/рік (78 т/рік; 120 т/рік);
- ПАТ "Запоріжсклофлюс" – 157 т/рік (52 т/рік; 27 т/рік);
- ПАТ "Мотор Січ" – 492 т/рік (108 т/рік; 147 т/рік);
- ПАТ "Запорізький автомобілебудівний завод" – 173,397 тис т/рік (12,651 тис т/рік; 17,428 тис т/рік).

Катастрофічного обсягу набуло утворення твердих побутових та промислових відходів. Так, упродовж 2014 р. у Запоріжжі та його передмістях було накопичено 1918,3 тис т токсичних твердих промислових відходів. У структурі відходів переважають речовини III-го та IV-го класів небезпеки (99,97%). 88,1% всіх промислових звалищ було сформовано за рахунок комбінату "Запоріжсталь" (62,5% загальноміського обсягу), заводу феросплавів (13,8%), алюмінієвого комбінату (11,8%) [18].

Всі адміністративні райони міста за рівнем концентрації промислового виробництва можна розділити на 2 типи: з високою концентрацією – Заводський, Ленінський, Орджонікідзевський, Шевченківський (від 24 до 30 підприємств); зі значною концентрацією виробництва (від 8 до 17) – Хортицький, Жовтневий, Комунарський.

Концентрація шкідливих домішок у повітрі навіть над центральними районами міста може перевищувати ГДК у 5 разів. У районі промислової зони вона досягає 10 ГДК. До вагомих забруднювачів відноситься транспорт.

Структура шкідливих викидів промислових підприємств значно відрізняється між собою. Так, виробництва "Запоріжсталь" забруднюють довкілля азотними сполуками (понад 60%), фтором (13%), залізом (8,9%), нікелем (12,9%), фенолами (0,8%). Вони викликають захворювання дихальних шляхів, головного мозку, печінки, нирок. На титано-магнієвому комбінаті переважають викиди неорганічного пилу (73,5%), кремнієвих сполук (13,8%), хлористого водню (10,6%). Купол забруднення над "Дніпроспецсталлю" складає переважно пил (41,1%). Це також підвищує частоту різноманітних захворювань [17].

Відбір зразків та лабораторні дослідження. Для визначення особливостей латерального розподілу магнітних характеристик і важких металів методом конверту відібрано 60 ґрунтових зразків. Відбір проб ґрунту проведено відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02-84 у рамках багаторічного контролю за забрудненням території важкими металами, що здійснюється ЦГО ДСНС України. У лівобережній частині міста 26 зразків відібрано в Заводському районі, на території основної промислової зони, де розташовані підприємства "Запоріжсталь", Запорізький завод феросплавів, "Український графіт", "Запоріжжкокс" та Запорізький титано-магнієвий комбінат. Навколо Запорізького автомобілебудівного заводу відібрано 6 зразків, у Першотравневому районі, 8 – на території підприємства "Мотор Січ" та Запорізького абразивного комбінату. У правобережній частині міста відбір проводився в селітебній та промисловій зонах Ленінського та Хортицького районів, Осипенківському житловому масиві.

На всіх зразках ґрунтів у лабораторних умовах були здійснені вимірювання низькочастотної та високочастотної магнітної сприйнятливості (χ_{LF} та χ_{HF} відповідно) за допомогою приладу Bartington з датчиком MS 2B Dual Frequency Sensor (Велика Британія). Було обраховано частотну залежність магнітної сприйнятливості (K_{fd}) за формулою:

$$K_{fd}(\%) = (\chi_{LF} - \chi_{HF}) / \chi_{LF} * 100\%. \quad (1)$$

На зразках з екстремально високими значеннями χ_{LF} вимірювання зроблені на капамістку KLY-2 (Geofizyka, Чехія).

Для визначення концентрацій хімічних елементів у пробах ґрунтів використано атомно-абсорбційний аналіз, який виконано в лабораторії Центральної геофізичної обсерваторії спектрофотометром «Селма».

Результати дослідження. В ході лабораторних досліджень зразків ґрунтів було визначено основні статистичні характеристики розподілів магнітних властивостей та вмістів ВМ у ґрунтах м. Запоріжжя, що наведені в табл. 1.

Низькочастотна магнітна сприйнятливість (χ_{LF}) ґрунтів міста змінюється у межах від 61×10^{-8} до $4087 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медіані $271 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (табл. 1). Як фонове значення для чорноземів звичайних доцільно взяти $\chi_{LF} \sim 80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, встановлене для ґрунтів заповідника "Хомутовський степ" (Донецька обл.) у роботі [9].

Просторовий розподіл χ_{LF} ґрунтів наведений на рис. 1. Значення, близькі до фонових, спостерігаються у правобережній частині міста за винятком промислової зони в Ленінському районі міста між вул. Кияшка та Каширським шосе, де χ_{LF} сягає $233 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Аномалії надвисоких значень $\chi_{LF} > 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ приурочені до промислової зони в Заводському районі міста, де розташовані основні металургійні підприємства. З рис. 1 видно, що χ_{LF} ґрунтів швидко зменшується по мірі віддалення від цієї промзони.

Таблиця 1

Статистичні характеристики магнітних властивостей та вмісту важких металів у ґрунтах м. Запоріжжя

	Мінімум	Максимум	Середнє	Медіана	Стандартне відхилення	Дисперсія	Асиметрія	Екссес	Коефіцієнт варіації
pH	6,5	7,9	7,3	7,3	0,2	0,1	0,0	2,5	3,1
Cd [мг/кг]	0,0	2,0	0,7	0,8	0,4	0,2	0,7	0,0	62,4
Mn [мг/кг]	179,0	42066,0	3421,5	773,0	6686,6	44711148,6	4,1	19,9	195,4
Cu [мг/кг]	8,0	186,0	29,0	23,5	25,4	646,2	4,3	24,6	87,6
Ni [мг/кг]	13,0	479,0	41,5	31,5	60,1	3611,1	6,8	49,6	144,9
Pb [мг/кг]	6,0	91,0	23,9	22,0	15,5	239,5	1,8	5,0	64,9
Zn [мг/кг]	30,0	361,0	126,0	115,5	66,5	4415,9	1,0	2,0	52,7
χ_{LF} [10^{-8} м ³ /кг]	60,6	4086,5	680,0	271,2	910,9	829702,2	2,0	3,6	134,0
K_{fd} [%]	0,0	13,3	3,0	2,0	3,5	12,1	1,3	72,5	114,2

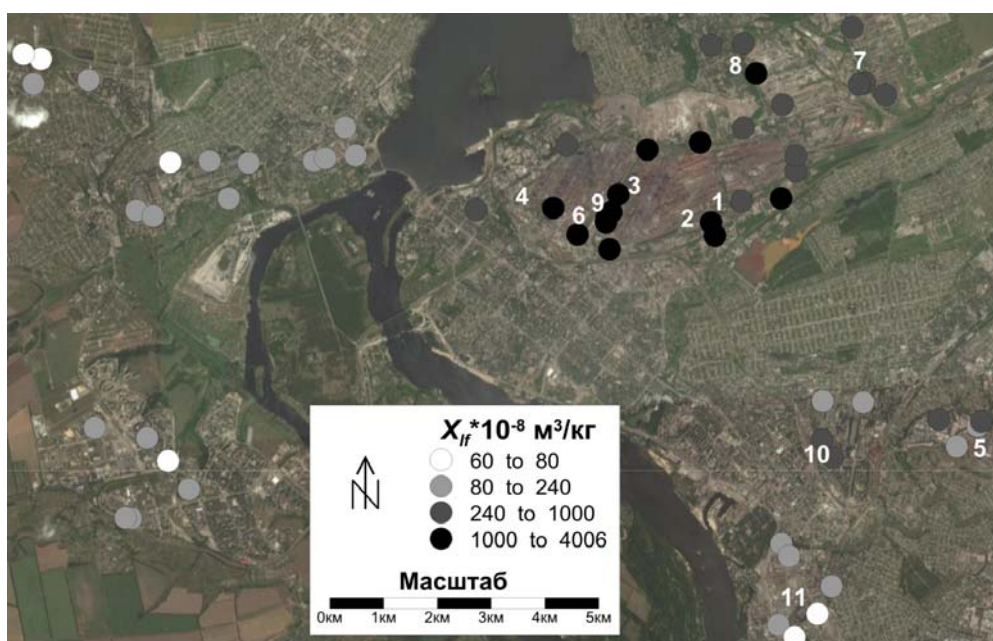


Рис. 1. Карта-схема низькочастотної магнітної сприйнятливості ґрунтів Запоріжжя:

- 1 – ВАТ "Запоріжсталь", 2 – ПАТ "Дніпроспецсталь", 3 – ПАТ "Запорізький завод феросплавів", 4 – ПАТ "Український графіт", 5 – ПАТ "Запорізький абразивний комбінат", 6 – ПАТ "Запоріжжкокс", 7 – ТОВ "Запорізький титано-магнієвий комбінат", 8 – ПАТ "Запоріжвогнетрив", 9 – ВАТ "Запорізький завод зварювальних флюсів та скловиробів", 10 – ПАТ "Мотор Січ", 11 – ПАТ "Запорізький автомобілебудівний завод"

Частотна залежність магнітної сприйнятливості (K_{fd}) чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір <30 нм) [3]. Згідно з [5, 10], якщо магнетизм ґрунту визначається переважно дрібними зернами у доменному стані на межі суперпарамагнетизм-однодоменність, для зразків характерні значення K_{fd} >6%, тоді як при переважанні багатодомених зерен K_{fd} демонструє низькі значення. У чистих ґрунтах Лісостепу і Степу України K_{fd} складає 8...13% [8], у техногенно забруднених аналогах K_{fd} зазвичай <5% [9].

K_{fd} ґрунтів Запоріжжя становить 0-13,3% при медіанному значенні 2,0%. Просторовий розподіл K_{fd} показує, що високі значення, притаманні ґрунтам у природному стані, спостерігаються на правобережній західній околиці міста, а низькі значення K_{fd} <2% приурочені до основної промислової зони в Заводському районі, що свідчить про переважання в цих ґрунтах техногенних багатодомених зерен у складі магнітної фракції.

Актуальна кислотність ґрунту характеризується величиною водневого показника pH_(водн.). За значеннями pH водної витяжки ґрунти Запоріжжя відносяться до нейтральних і слаболужних [20]. pH_(водн.) по-

верхневого шару ґрунтів коливається в межах 6,5-7,9 (табл. 1). Найвищі показники зафіксовано на території промзони у Заводському районі міста.

Вміст ВМ. Згідно з нормативами оцінок забруднення ґрунтів ВМ [21], благополучною можна вважати екологічну ситуацію, коли вміст елементів відносно регіонального фону валової форми у ґрунтах становить 1-2; задовільною – 2-4; передкризовою 4-5; кризовою 5-6; катастрофічною >6.

Вміст кадмію. Як регіональний фон кадмію використане значення 0,22 мг/кг, отримане [15] у чорноземі звичайних Дніпропетровської обл. Середній вміст Cd у ґрунтах Запоріжжя становить 0,72 мг/кг, що відповідає задовільному рівню забруднення. В основній промисловій зоні на території комбінаті "Запоріжсталь" і "Дніпроспецсталь", коксохімічного заводу та заводу феросплавів у 9-ти пунктах, також у 4-х пунктах поблизу заводу "Мотор Січ" та у 2-х на Запорізькому автомобілебудівному заводі, спостерігаються кризовий та катастрофічний рівні забруднення. На правому березі кризовий рівень зафіксований по Дніпропетровському шосе, біля прохідної ВАТ "Запоріжтрансформатор". На території заводу "Мотор Січ" зафіксований найвищий рівень забруднення кадмієм, валові форми перевищували фонову концентрацію в 7,95 рази.

Вміст марганцю. Середній вміст марганцю у ґрунтах за Віноградовим оцінюється у 850 мг/кг [28]. Медіанний валовий вміст марганцю у ґрунтах Запоріжжя становить 773 мг/кг, а максимальне значення 42066 мг/кг, що майже на два порядки перевищує фонове (475 мг/кг за [28]). Вся територія основної промислової зони на лівому березі Дніпра відповідає кризовому екологічному стану за вмістом Mn.

Вміст міді. Регіональний фон міді у ґрунтах – 21 мг/кг [28]. Проте в результаті надходження міді внаслідок діяльності підприємств чорної металургії і здатності поверхневого шару ґрунту до акумуляції міді, вміст її у ґрунтах міста збільшився.

Медіана валового вмісту міді у ґрунтах Запоріжжя (інтервал 0-5 см) становить 23,5 мг/кг, що відповідає фону. Підвищений вміст міді відмічається на території основної промислової зони, а також поблизу заводу "Мотор Січ". На території Запорізького автомобілебудівного заводу відмічається максимальне значення 186 мг/кг, що перевищує фонову величину в 9 разів.

Вміст нікелю. Регіональний фон нікелю у ґрунтах – 28 мг/кг [28]. Вміст Ni у цілому відповідає благополучному, лише в околі заводу "Мотор Січ" відмічаються підвищені рівні, що сягають 479 мг/кг, це в 17 разів перевищує фон.

Вміст свинцю перевищує фоновий рівень (10 мг/кг) на всій лівобережній території міста, а також у промзонах на правому березі. Медіанне значення 22 мг/кг. Критичних значень досягає в окремих точках на території Запорізького титано-магнієвого комбінату, Запорізького автомобілебудівного заводу та коксохімічного заводу.

Вміст цинку. Кларк цинку в земній корі 76 мг/кг [16]. Кларк цинку в ґрунтах за Боуеном 90 мг/кг [1]. Середній валовий вміст цинку у ґрунтах Запоріжжя становить 116 мг/кг, що у два рази перевищує фоновий рівень (57 мг/кг) [28]. В одному пункті в Осипенківському житломасиві на правому березі вміст цинку сягає кризового рівня. У промислових зонах міста хоча й відбувається накопичення цинку у поверхневих

горизонтах ґрунтів, проте його вміст відповідає задовільному екологічному рівню.

Обговорення результатів. Значне підвищення магнітної сприйнятливості ґрунтів у місті вказує на збільшення концентрації магнітних мінералів, джерелом яких є техногенні дрібнодисперсні аерозолі [4]. Техногенні магнітні мінерали поступово руйнуються під впливом ґрунтових розчинів, вивільнюючи ВМ, що має впливати на статистичні закономірності.

Статистична обробка масивів значень χ_{LF} , K_{fd} та вмісту ВМ (табл. 1) показала, що найбільші коефіцієнти варіації спостерігаються для χ_{LF} , K_{fd} , а також вмісту Mn та Ni. Вміст інших досліджених елементів помірно варіабельний, коефіцієнти варіації становлять 52,7-87,6. Зазначимо, що висока варіабельність вмісту ВМ притаманна зонам техногенних аномалій за відповідними елементами [24].

Найбільші асиметрії розподілів характерні для χ_{LF} , а також для Ni, Cu, Mn, Pb, тобто у вказаних розподілах переважають високі значення. Решта розподілів є майже симетричними.

Важливим етапом дослідження стало вивчення кореляційних зв'язків у середині матриці, що складається з χ_{LF} , K_{fd} та вмісту ВМ (табл. 2). Наявність зв'язку може вважатися доведеною, якщо коефіцієнт кореляції Пірсона (r) між двома масивами даних перевищує критичну величину для обраного рівня значущості p і відомих розмірів вибірки [2]. Вибірки даних містять по 60 пар значень, отже при $p < 0,01$ критичне значення r становить 0,336. Критичне значення перевищують коефіцієнти кореляції між χ_{LF} та Cd ($r=0,388$), Pb ($r=0,536$), Ni ($r=0,590$), Cu ($r=0,648$), Mn ($r=0,698$), отже можна стверджувати, що збільшення магнітної сприйнятливості ґрунтів супроводжується підвищенням вмістів перелічених металів. Також спостерігається значуща негативна кореляція між K_{fd} та вмістом чотирьох ВМ, що підсилюється в ряду Mn-Cu-Pb-Zn.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції

	χ_{LF}	K_{fd}	pH	Cd	Mn	Cu	Ni	Pb
K_{fd} [%]	-0,355							
pH	0,386	-0,409						
Cd [мг/кг]	0,388	-0,254	0,300					
Mn [мг/кг]	0,698	-0,367	0,461	0,182				
Cu [мг/кг]	0,648	-0,472	0,490	0,487	0,446			
Ni [мг/кг]	0,590	-0,139	0,209	0,300	0,293	0,563		
Pb [мг/кг]	0,536	-0,504	0,485	0,366	0,351	0,562	0,224	
Zn [мг/кг]	0,296	-0,541	0,409	0,376	0,231	0,361	0,136	0,525

Рівень значущості зв'язку 99% ($p < 0,01$)

Означені закономірності вказують на достовірний зв'язок між магнітними властивостями ґрунтів у Запоріжжі та їх забрудненням ВМ.

Елементи Mn, Cu, Ni, Pb, Cd, Zn використано для розрахунку індексу накопичення забруднення PLI (*Pollution load index*) [11]. Цей показник розраховується як середнє геометричне коефіцієнтів концентрації n металів (K_c , $i=1...n$), де K_c i -го металу представляє собою відношення вмісту металу в зразку до фонового вмісту:

$$PLI = \sqrt[n]{K_c(Mn) \cdot K_c(Cu) \cdot K_c(Ni) \cdot K_c(Pb) \cdot K_c(Cd) \cdot K_c(Zn)}. \quad (2)$$

Показник накопичення забруднення PLI демонструє, у скільки разів концентрація поллютантів у ґрунті перевищує фонову. Значення $PLI > 1$ показує, що ґрунти забруднені, про відсутність забруднення свідчить $PLI < 1$ [12].

На рис. 2 наведено карту-схему PLI ґрунтів Запоріжжя. У результаті виконаних екогеохімічних досліджень встановлено, що для ґрунтів Запоріжжя PLI може досягати 5,3. Як бачимо, комплексні геохімічні аномалії з найбільшим значенням цього показника просторово тяжіють до головної промислової зони міста, розташованої у Заводському районі. Ареали розсіювання ВМ знаходяться не лише в санітарно-захисних зонах підприємств чорної металургії, але й навколо інших підприємств. Наприклад, поблизу заводу "Мотор Січ" $PLI = 3,8$. За показником PLI, найбільш чистою є правобережна частина міста ($PLI = 0-2$). Беручи до уваги розподіл ґрунтів Запоріжжя, в якій переважають північно-східні напрямки, ареали аерозольного забруднення мали бути витягнуті на південний захід. Цього не відбувається

завдяки наявності потужного екологічного бар'єру – р. Дніпро, над руслом якого проявляється так званий "долинний" ефект. Вітер, що дме під гострим кутом до долини річки, над водою змінює свій напрямок, рухаю-

чись уздовж русла. Можна зробити висновок, що Дніпро перешкоджає забрудненню правобережних районів міста викидами підприємств металургійного комплексу.

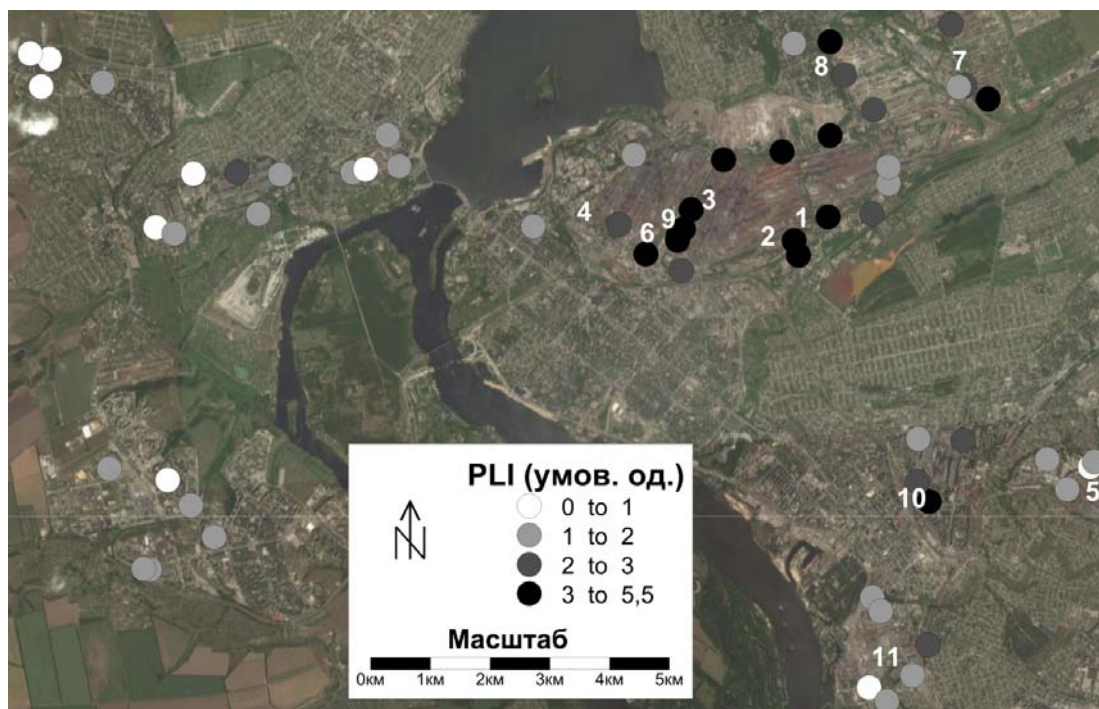


Рис. 2. Карта-схема показника накопичення забруднення PLI ґрунтів м. Запоріжжя:

- 1 – БАТ "Запоріжсталь", 2 – ПАТ "Дніпроспецсталь", 3 – ПАТ "Запорізький завод феросплавів", 4 – ПАТ "Український графіт", 5 – ПАТ "Запорізький абразивний комбінат", 6 – ПАТ "Запоріжжкокс", 7 – ТОВ "Запорізький титано-магнієвий комбінат", 8 – ПАТ "Запоріжвогнетрив", 9 – БАТ "Запорізький завод зварювальних флюсів та скловиробів", 10 – ПАТ "Мотор Січ", 11 – ПАТ "Запорізький автомобілебудівний завод"

Між χ_{LF} та PLI також існує сильний статистично доведений зв'язок, коефіцієнт кореляції між ними становить $r=0,79$ при рівні значущості $p<0,01$, також спостерігається негативна кореляція між K_{fd} та PLI з коефіцієнтом $r=-0,49$ при рівні значущості $p<0,01$. Це означає, що магнітне забруднення, в якому переважає багатодомenna фракція, накопичується в ґрунтах разом з ВМ.

Актуальна кислотність ($pH_{(водн.)}$) ґрунтів Запоріжжя демонструє середній кореляційний зв'язок з PLI ($r=0,59$), а також помірний ($r=0,39$, при $p<0,01$) кореляційний зв'язок з χ_{LF} . Тобто, нагромадження техногенного магнітного та поліелементного забруднення супроводжується олушенням ґрунтів. Імовірно пояснення цього явища лежить у площині хімічних реакцій між техногенними речовинами викидів металургійних заводів в атмосфері і ґрунті. Підприємства Запоріжжя викидають великі обсяги оксидів азоту і діоксиду сірки. В атмосфері ці речовини реагують з водою з утворенням відповідних кислот. Викиди неорганічного пилу, що містить магнітні мінерали та ВМ, на 5-50% складаються з CaO, який інтенсивно реагує з водою, а також азотними та сірчаними аерозолями, з утворенням лугів і солей. Означені хімічні реакції можуть проходити як в атмосфері, провокуючи слаболужні опади, так і в ґрунті, під впливом кислотних опадів [18].

Висновки. Підприємства металургійного комплексу визначають рівень забруднення ґрунтів Запоріжжя магнітною фракцією. На прилеглих територіях у Заводському районі міста встановлено значне підвищення магнітної сприйнятливості, χ_{LF} ґрунтів досягає $4087 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ і зменшується по мірі віддалення від цієї промзо-

ни. Тут зафіксовано комплексну геохімічну аномалію за вмістами Cd, Mn, Pb, які відповідають кризовому та катастрофічному рівням, показник накопичення забруднення PLI становить 2,6-5,3.

ґрунти правобережної частини міста характеризуються близькими до фонових або помірно підвищеними χ_{LF} з показником PLI, близьким до 1, ареали розсіяння деяких хімічних елементів приурочені до окремих промислових об'єктів. Просторові розподіли хімічних елементів і магнітних характеристик показують, що Дніпро становить екологічний бар'єр на шляху розповсюдження забруднення, захищаючи правобережну частину міста.

Магнітні параметри є важливими індикаторами накопичення забруднення в ґрунтах Запоріжжя. демонструє значущі додатні коефіцієнти кореляції з вмістом Cd, Pb, Ni, Cu, Mn, а також показником PLI, а K_{fd} знаходиться в оберненому кореляційному зв'язку з Mn, Cu, Pb та Zn. Тобто техногенні магнітні мінерали накопичуються в ґрунті разом з ВМ.

Встановлено, що нагромадження техногенного магнітного та поліелементного забруднення супроводжується олушенням ґрунтів.

Наведені закономірності є вагомим обґрунтуванням для застосування магнітного методу діагностики та моніторингу екологічного стану ґрунтів Запоріжжя та прилеглих територій.

Подяки. Автори вдячні колективу Центральної геофізичної обсерваторії ДСНС і особисто зав. лабораторії спостережень за забрудненням ґрунтів і моніторингу Дівніч Тетяні Федорівні за сприяння у проведенні досліджень.

Список використаних джерел

1. Bowen H. J. M. *Environmental chemistry of elements* / H. J. M. Bowen. N.Y.: Acad. Press, 1989. – 333 p.
2. Chaddock R. E. *Principles and Methods of Statistics* / R. E. Chaddock; 1st Edition // Houghton Mifflin Company. – Cambridge: The Riverside Press, 1925.
3. Dearing J. A. *Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System* / J. A. Dearing. Kenilworth: Chi Publishing, 1999. – P. 54.
4. Evans M. E. *Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics* / M. E. Evans, F. Heller // International Geophysics series. – Elsevier science (USA), 2003. – Vol. 86. – 299 p.
5. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials / J. A. Dearing, R. J. L. Dann, K. Hay et al. // *Geophys. J.* – 1996. – Int. 124. – P. 228-240.
6. Heller F. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland / F. Heller, Z. Strzyszc, T. Magiera // *Journal of geophysical research*. – 1998. – Vol. 103, № B8. – P. 17,767-17,774.
7. Magiera T. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland / T. Magiera, Z. Strzyszc, M. Rachwal // *Forest ecology and management*. – 2007. – Vol. 248. – P. 36-42.
8. Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądziałko-Hofmokr et al. // *Stud. Geophys. Geod.* – 2008. – № 52. – P. 255-270.
9. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, B. Kopcewicz et al. // *Geophysical Journal International*. – 2004. – Vol. 159(1). – P. 104-116.
10. Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation / J. A. Dearing, P. M. Bird, R. J. L. Dann, S. F. Benjamin // *Geophys. J.* – 1997. – Int. 130. – P. 727-736.
11. Strzyszc Z. The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in upper Silesia / Zygmunt Strzyszc, Tadeusz Magiera, Friedrich Heller // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 1996. – Vol. 40, Issue 3. – P. 276-286.
12. Tomlinson D. L. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D. L. Tomlinson, J. G. Wilson, C. R. Harris, D. W. Jeffney // *Helgol. Wiss. Meeresunters.* – 1980. – Vol. 33. – P. 566-572.
13. Васильев А. А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения / А. А. Васильев, А. Н. Чашин. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011.
14. Віршило І. В. Просторовий аналіз індустріального забруднення ґрунтів Північної Астурії (Іспанія) за даними петромагнітних і геохімічних досліджень / І. В. Віршило, К. М. Бондар // *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. – 2009. – Вип. 6. – С. 223-234.
15. Григоренко, Л. В. Еколого-гігієнічна оцінка забруднення ґрунту кадмієм та свинцем в умовах техногенного навантаження на довкілля (на прикладі Дніпропетровської області): автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.02.01 / Григоренко Любомир Вікторович; ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О. М. Марзєєва АМН України" - К., 2010. – 23 с.
16. Гринвуд Н. Химия элементов / Н. Гринвуд, А. Эрншо. – М.: Бинном, 2008. – Т. 1. – 607 с.; Т. 2 – 670 с.
17. Донець І. А. Суспільно-географічне дослідження екологічних проблем м. Запоріжжя: 11.00.02 автореф. ... канд. географ. наук / Донець Ірина Анатоліївна. – Київ, 2001. – 28 с.
18. Екологічний паспорт Запорізької області 2014 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/zaporizka>.
19. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Я. Прессин и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 206 с.
20. Кормилицына О. В. Почвоведение / О. В. Кормилицына, О. В. Мартыненко, В. Н. Карминов, Е. Д. Сабо; [под ред. Рожкова В. А.]. – Москва, 2006. – 306 с.
21. Коробкин В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 576 с.
22. Національний атлас України. ґрунти та ґрунтові ресурси. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>.
23. Некос В. Ю. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище: навч. посібн. / В. Ю. Некос, Н. В. Максименко, О. Г. Владимірова. — Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2005. — 184 с.
24. Саєт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саєт [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 325 с.
25. Скибарко А. П. Мониторинг техногенного загрязнения земель промышленно-урбанизированных территорий: автореф. ... канд. геогр. н.: 25.00.26 / Скибарко Алексей Петрович. – Москва, 2013. – 144 с.
26. Стан довкілля в Запорізькій області. Інформаційно-аналітичний огляд. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zdn.gov.ua/view/2015-rik.html>.
27. Страдина О. А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. с.-х. н. / Страдина О. А. – Уфа, 2008. – 20 с.
28. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України / [під ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пащенко]. – 2003. – 72 с.

References

1. Bowen, H.J.M. (1989). *Environmental chemistry of elements*. Acad. Press, 333 p.
2. Chaddock, R.E. (1925). *Principles and Methods of Statistics*. (1st Edition). Houghton Mifflin Company, The Riverside Press, Cambridge.
3. Dearing, J.A. (1999). *Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System*. Chi Publishing, Kenilworth, 54 p.
4. Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics*. Elsevier science (USA), *International Geophysics series*, 86, 299.
5. Dearing, J.A., Dann, R.J.L., Hay, K., Lees, J.A., Loveland, P.J. et al. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Int.*, 124, 228-240.
6. Heller, F., Strzyszc, Z., Magiera, T. (1998). Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *Journal of geophysical research*, 103, B8, 17,767-17,774.
7. Magiera, T., Strzyszc, Z., Rachwal, M. (2007). Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. *Forest ecology and management*, 248, 36-42.
8. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokr, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A. et al. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012-1033.
9. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K. et al. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophys. J. Int.*, 159(1), 104-116.
10. Dearing, J.A., Bird, P.M., Dann, R.J.L., Benjamin, S.F. (1997). Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophys. J. Int.*, 130, 727-736.
11. Strzyszc, Z., Magiera, T., Heller, F. (1996). The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in upper Silesia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 40(3), 276-286.
12. Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffney, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol. Wiss. Meeresunters.*, 33, 566-572.
13. Vasilyev, A., Chaschin, A. (2011). *Heavy metals in the soils of the city Chusovoy: assessment and diagnosis of pollution*. Perm. [in Russian].
14. Virshylo, I.V., Bondar, K. (2009). Spatial analysis of industrial soil contamination North Asturias (Spain) according to petromagnetic and geochemical studies. *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 6, 223-234. [in Ukrainian].
15. Grygorenko, L. (2010). Ecological and hygienic assessment of soil contamination by lead and cadmium in terms of environmental impact (for example, Dnipropetrovsk region). *Extended abstract of candidate's thesis (14.02.01, Medicine)*. Institute of Hygiene and Medical Ecology, 23 p. [in Ukrainian].
16. Greenwood, N., Earnshaw, A. (2008). *Chemical elements*. (Vols. 1-2). Moscow: Binom. [in Russian].
17. Donets, I. (2001). Socio-geographical study of environmental problems on Zaporizhzhya. *Extended abstract of candidate's thesis (11.00.02, Geography)*. Kyiv, 28 p. [in Ukrainian].
18. Ecological passport Zaporizhzhya region in 2014. (n.d.). *menr.gov.ua*. Retrieved from <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/zaporizka>. [in Ukrainian].
19. Israel, Yu., Nazarov, I., Pression, A. (1983). *Acid rain*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 206 p. [in Russian].
20. Kormylytsyna, O.V., Martynenko, A.V., Karmynov, V.N., Sabo, E. (2006). *Pochvovedenye*. V.A. Rozhkov (ed.). Moscow, 306 p. [in Russian].
21. Korobkyn, V., Peredelsky, L. (2003). *Ecology*. Rostov-on-Don: Phoenix, 576 p. [in Russian].
22. The National Atlas of Ukraine. Soil and groundwater resources. (n.d.). *wdc.org.ua*. Retrieved from <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>. [in Ukrainian].
23. Nekos, V., Maksimenko, N., Vladimirov, O. (2005). *Rationing anthropogenic load on the environment: teach. guidances*. Kharkiv: Karazin Kharkiv National University, 184 p. [in Ukrainian].
24. Saet, Yu.E. et al. (1990). *Environmental Geochemistry*. Moscow: Nedra, 325 p. [in Russian].
25. Skybarko, A.P. (2013). Monitoring of technogenic pollution of land industrial territories. *Extended abstract of candidate's thesis (25.00.26, Geography)*. Moscow, 144 p. [in Russian].
26. The environmental situation in Zaporizhzhya region. Information-analytical review. (n.d.). *zdn.gov.ua*. Retrieved from <http://zdn.gov.ua/view/2015-rik.html>. [in Ukrainian].
27. Stradina, O. (2008). The magnetic susceptibility of soils of the Middle Urals as an indicator of contamination with heavy metals. *Extended abstract of candidate's thesis (Agriculture)*. Ufa, 20 p. [in Russian].
28. Fateeva, A., Pashchenko, Ya. (Eds.). (2003). *Background contents of trace elements in soils Ukraine*. 72 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 19.12.15

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

E-mail: ks_bondar@ukr.net

I. Tsyupa, Engineer

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

A. Korol, Chemist

Central Geophysical Observatory

39-B Nauky Ave., Kyiv, 03028 Ukraine

MAGNETIC METHOD OF ZAPORIZHZHYA SOIL POLLUTION ASSESSMENT: ECOLOGICAL AND GEOCHEMISTRY JUSTIFICATION

The paper is devoted to the study of the magnetic properties and content of heavy metals in soils from Zaporizhzhya area – a powerful industrial center. During the study it was found that low-frequency magnetic susceptibility (χ_{LF}) of soils varies within the range $61 \dots 4087 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ with a median value $271 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, and the frequency dependence of magnetic susceptibility (K_{fd}) is $0 \dots 13.3\%$ with a median value 2.0% . The low χ_{LF} and high K_{fd} values, that are typical of natural soils, are observed on the right-bank of the western outskirts of the city, and low values $K_{fd} < 2\%$ and $\chi_{LF} > 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ are confined to the main industrial zone where steel-mills are situated. Observed correlations between magnetic parameters and heavy metals content in soils allow us to recommend magnetic method for evaluation and monitoring of ecological conditions in of the Zaporizhzhya city.

Maps that indicate spatial distribution of χ_{LF} and Pollution Load Index (PLI) of soils have shown that the river Dnieper prevents spreading of dust and gas pollution on the right bank of the city.

Keywords: low-frequency magnetic susceptibility of soils, heavy metals, pollution load index, Zaporizhzhya.

К. Бондарь, канд. геол. наук, ст. науч. сотрудник,

E-mail: ks_bondar@ukr.net,

И. Цюпа, инж. 1 кат.,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

А. Король, вед. химик,

Центральная геофизическая обсерватория,

пр. Науки, 39, корп. 2, м. Киев, 03028, Украина

МАГНИТНЫЙ МЕТОД ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗАПОРОЖЬЯ: ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Работа посвящена изучению магнитных свойств и содержанию тяжелых металлов в почвах г. Запорожья – мощного промышленного центра. В ходе исследования установлено, что низкочастотная магнитная восприимчивость (χ_{LF}) почвы города изменяется в диапазоне от 61×10^{-8} до $4087 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медианном значении $271 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а частотная зависимость магнитной восприимчивости (K_{fd}) почвы Запорожья составляет $0 \dots 13,3\%$ при медиане $2,0\%$. Низкие значения χ_{LF} и высокие K_{fd} характерны для природных почв, встречаются на правобережной западной окраине города, а низкие значения $K_{fd} < 2\%$ при $\chi_{LF} > 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ приурочены к основной промышленной зоне, где сконцентрированы заводы металлургического комплекса. Определенные корреляционные связи между магнитными параметрами и содержанием тяжелых металлов в почвах дают возможность рекомендовать магнитный метод для диагностики и мониторинга экологического состояния почвы г. Запорожье.

Построенные карты-схемы пространственных распределений χ_{LF} и показателя накопления загрязнения (PLI) показывают, что р. Днепр препятствует распространению пылегазового загрязнения в правобережной части города.

Ключевые слова: низкочастотная магнитная восприимчивость почвы, тяжелые металлы, показатель накопления загрязнения, Запорожье.

УДК 550.834.015

Т. Кузьменко, асп.

E-mail: kuzmenko_tm@ukr.net

А. Тищенко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: aptyshchenko@gmail.com

П. Кузьменко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: pavlokn@ukr.net

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

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ

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

У роботі розглянуто аспекти побудови геолого-геофізичних моделей родовищ вуглеводнів та окреслено перспективи їхнього застосування в сучасному геологорозвідувальному процесі. Проведено ретроспективний аналіз уявлень та методики побудови геолого-геофізичних моделей. Охарактеризовано підходи, орієнтовані на автоматизацію всього процесу аналізу та обробки інформації, що починається з введення первинних сейсмічних даних, їх обробки, інтерпретації, закінчуючи створенням моделі площі або родовища та їх експлуатацією. Наведено класифікацію геолого-геофізичних моделей за стадіями геологорозвідувальних робіт.

Ключові слова: комплексна геолого-геофізична модель родовища (ГГМ), родовище вуглеводнів, синтетичне моделювання сейсмічних даних, ефективна сейсмогеологічна модель, методи моделювання.

Вступ. Одним із перспективних напрямків досліджень нафтогазоносних об'єктів є побудова їх комплексних геолого-геофізичних моделей з подальшою корекцією у процесі розвідки та експлуатації. Такий підхід сформований за останні 10-15 років і розвивається передовими науковими установами, видобувними та сервісними компаніями світу. За світовим досвідом, геолого-геофізична модель на основі поточного розуміння умов утворення та формування покладів вуглеводнів (ВВ) дозволяє послідовно й змістовно вивчати перспективні геологічні об'єкти у всіх аспектах: геологічному, технологічному й економічному. Суть концепції полягає в уніфікації форми подання всього комплексу даних про геологічний об'єкт. Оперування даними проводиться за допомогою сучасних інформаційно-обчислювальних засобів по всіх видах досліджень та проектних вишукувань, а також – супроводу (моніторингу) комплексу виробничих та технологічних процесів.

Динаміка розвитку систем геологічного моделювання в Україні дещо знижена порівняно зі світовою динамікою. Це, перш за все, пов'язано з порівняно невеликою вуглеводневою базою, загальною виснаженістю родовищ, а отже, й меншою кількістю інвестицій у нафтогазову галузь. Незважаючи на це, фахівцями, науковцями та виробничими установами України за останні 5-7 років виконано велику кількість робіт, в основу яких покладено геолого-геофізичне моделювання з використанням новітніх програмних засобів.

Обґрунтування підходів до побудови моделей геологічного середовища. Побудова моделей перспективних на нафту та газ об'єктів є невід'ємним атрибутом сучасного геологорозвідувального процесу. В нафтогазовій галузі, як і в будь-якій сфері діяльності, людина застосовує методи моделювання. З метою підвищення надійності та достовірності результатів розвідувальних робіт під час пошуків і розвідки родовищ ВВ на сучасному етапі найбільш ефективною є методика й технологія комплексного аналізу даних сейсморозвідки та свердловинної геофізики, тобто побудова геолого-геофізичної моделі площі або родовища.

Фізичними передумовами комплексної інтерпретації є наявність прямих і непрямих зв'язків між полями, що реєструються на денній поверхні та у свердловині, і розташованими на глибині з нафтогазовими покладами, які приурочені до структур різних типів. Також для комплексного розуміння необхідне розуміння історії геолого-тектонічного формування родовищ і процесів накопичення ВВ. Формування будь-якого родовища ВВ

контролюється фізичними процесами, що призводять до змін первинного стану й структури вміщуючих порід у деякому об'ємі, що, як правило, перевищує розміри локалізованих покладів. Таким чином, родовища ВВ є багатокомпонентними багатофазовими об'єктами, які контрастують з оточуючим середовищем за генезисом або морфологією та відображаються в макро- і мікρο-структурі геофізичних полів [10].

На сьогоднішній день приріст запасів нафти та газу, підтримка та збільшення власного видобутку пов'язані із залученням до розробки й експлуатації складнобудованих родовищ у пошуково-розвідувальному плані: розташування свердловин з інтервалом у 500 м одна від одної, які можуть розкривати розрізи, що суттєво відрізняються за літологічним складом, фільтраційно-ємнісними властивостями тощо.

Сучасними дослідниками створено значну кількість теоретичних, емпіричних, напівемпіричних моделей середовищ [3, 15], за допомогою яких можна досить добре описати реальне середовище та здійснити прогноз значень пружних параметрів. З урахуванням наявної різноманітності моделей, важливе значення має вибір певної моделі ефективного середовища, яка б найбільш повно відображала апріорну геологічну інформацію. Отримана модель дозволяє зрозуміти, зміна яких параметрів (пористість, насичення тощо) або їх комплексу має найбільший вплив на характеристики сейсмічного сигналу, правильно проінтерпретувати результати сейсмічної інверсії й надалі знизити геологічні ризики під час планування розвідувального та експлуатаційного буріння. [12]

Якісно нові можливості комплексної інтерпретації кінематичних і динамічних параметрів даних сейсморозвідувальних досліджень відкривають сучасні комп'ютерні технології обробки та інтерпретації сейсмічних даних, що одержують за методикою багатократних перекриттів. Детальне вивчення ефективних параметрів часових полів і полів амплітуд, уведених у розгляд Ю.В. Різниченком [9] і Н.Н. Пузирьовим [8], дозволило не тільки підвищити точність вимірювання й достовірність виділення сейсмічних хвиль на тлі різноманітних завад, але й одержувати дані для уточнення латеральної та вертикальної неоднорідностей розрізу шляхом розв'язку зворотних кінематичних і динамічних задач.

Ви рішенням цих завдань, починаючи з 80-х років ХХ ст., займалися вчені колишнього СРСР: С.П. Перельман, А.К. Яновський, М.Б. Коростишевський, Г.Н. Боганик, А.К. Урупов [11], Ф.М. Гольцман, С.В. Гольдін, Р.М. Бем-

бель, В.М. Глоговський, Г.Н. Гогоненков, С.Н. Птецов, А.Г. Авербух, З.Н. Лозінський, Е.А. Козлов [6], І.А. Мушин, В.С. Черняк, С.А. Гриценко, Д.І. Судварга та ін.; і за межами CPCP: Berkhout, Waters, Anstey, Kleyn, Claerbout, Yilmaz, Dobrin, Savit, Cara, Telford, Kearey, Brooks, Henri, Sheriff, Geldart, Brouwer, Helbig, Brown, Lines, Newrick, Ikelle, Amundsen.

Геологічні об'єкти загалом і нафтогазові родовища зокрема відносяться до класу доволі організованих систем, які в більшості випадків не підлягають детальному кількісному опису у строгой математичній формі. Тому на практиці замість визначення залежностей, які детально описують об'єкт, використовується поняття геолого-геофізичної моделі, що являє собою апроксимований варіант об'єкта й характеризує найбільш суттєві риси його будови. При цьому ступінь апроксимації прямо залежить від фактичних геологічних даних (кількості об'єктів вивчення), які використовуються як еталони або навчальні приклади.

Як показує досвід, за допомогою сформованої комплексної геолого-геофізичної моделі родовища (ГГМ) можна за багатовимірними геолого-геофізичними характеристиками не тільки виявити контури покладу ВВ у рамках площ вивчення, але й за наявності свердловинних даних провести, з достатнім ступенем достовірності, кількісну оцінку характеру зміни різних прогнозних

параметрів, які визначають колекторські властивості порід, ступінь нафтогазонасиченості й дати оцінку прогнозних ресурсів ВВ.

ГГМ будується шляхом заповнення сформованого геометричного каркасу об'єкта досліджень (геометричної моделі) літофаціальними, петрофізичними та фільтраційно-ємнісними властивостями за визначеними функціональними залежностями [5].

Узагальнена технологічна схема побудови комплексної ГГМ представлена на рис. 1. Такий підхід дозволяє простежити розвиток моделі залежно від кількості наявної інформації та робить можливим планування подальших геологорозвідувальних робіт під час пошуків і розвідки родовищ ВВ.

На рис. 2 наводиться приклад зональної ГГМ у межах акваторії Чорного моря.

Поняття ефективної геологічної моделі у сучасному науковому світі наразі точно не визначене. Ймовірно, це поняття не може бути до кінця визначене через те, що інформаційні складові моделі часто відображають лише сучасний стан геологічної науки, її технічних засобів і можливостей дистанційних методів [14]. Виходячи з цього, слід навести опис компонентів геологічних моделей, їх інформаційних складових і самого процесу моделювання (табл. 1).

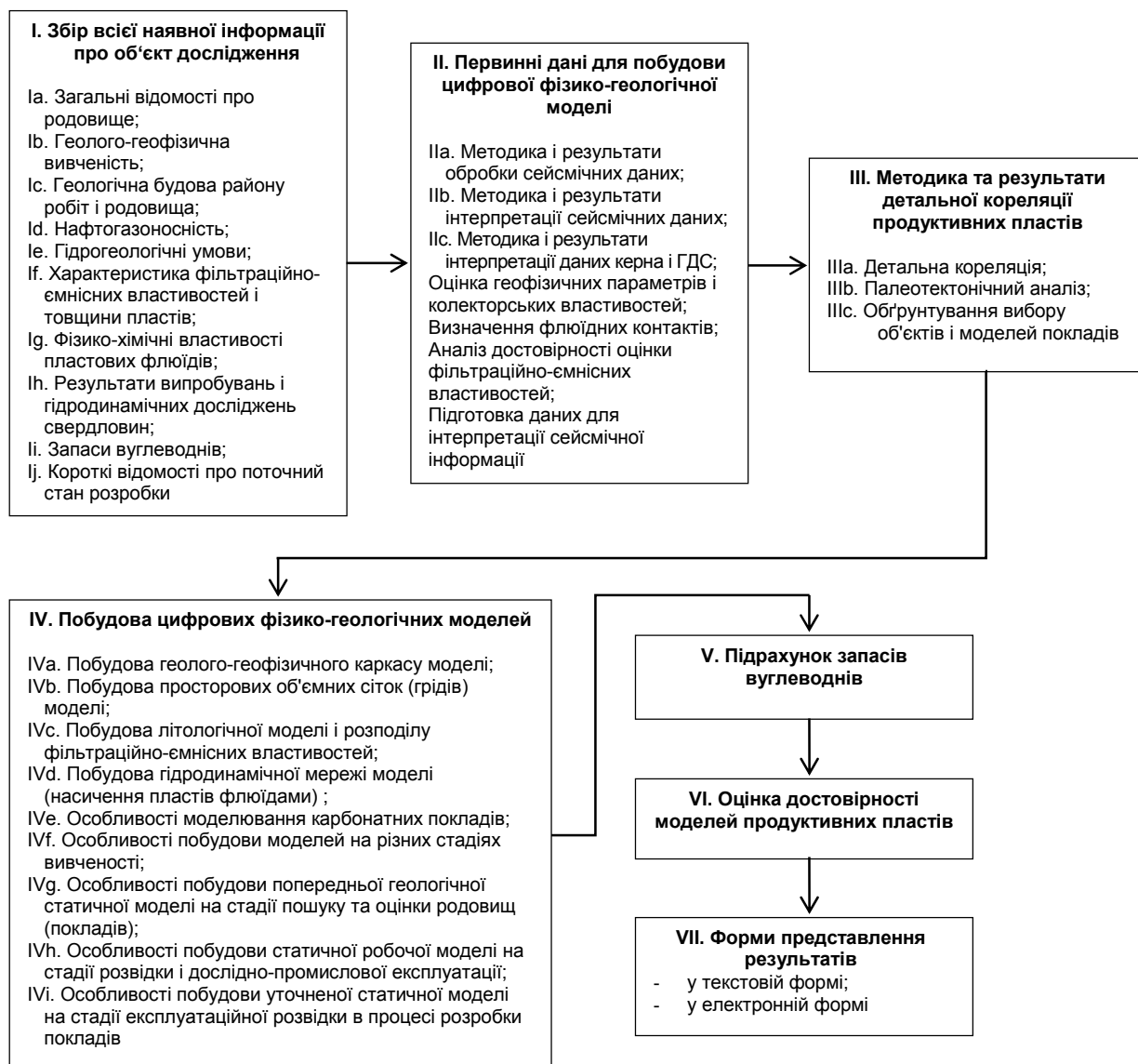


Рис. 1. Технологічна схема побудови комплексної геолого-геофізичної моделі [4]

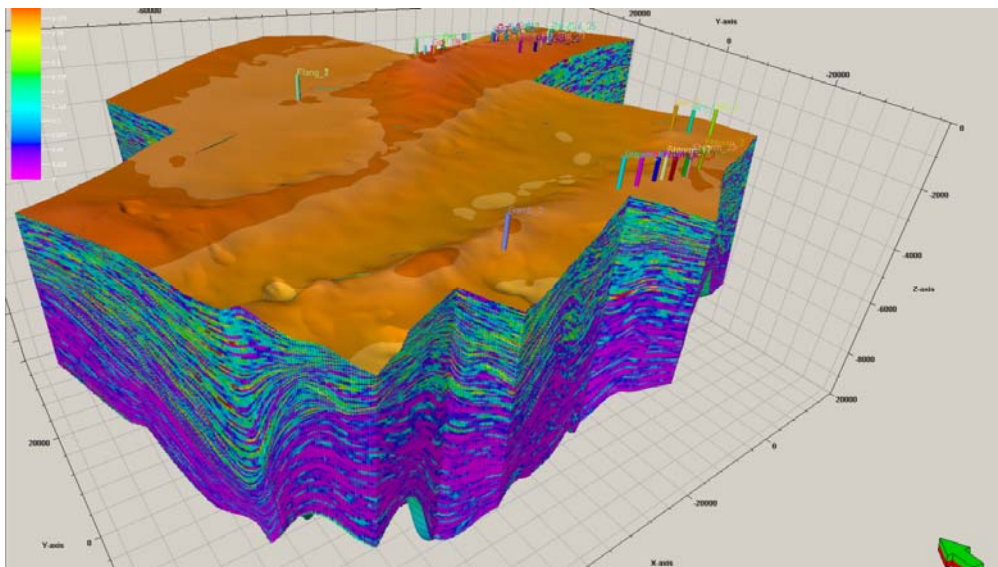


Рис. 2. Зональна геолого-геофізична 3D модель

Таблиця 1

Класифікація ГГМ за стадіями геологорозвідувальних робіт від прогнозних до визначених компонент моделі.

Модель (еволюційні варіанти модельних уявлень)

Прогнозні компоненти моделі	Геологічна		Фізико-геологічна			Визначені компоненти моделі
	Первинна	Зональна	Структурна	Статична	Динамічна	
	Визначені перспективи нафтогазоносності території	Визначене просторове розміщення структуроутворюючих елементів та зон формування пасток вуглеводнів	Геометрична (структурна) будова нижнього напівпростору, визначена по сейсмічних відбиваючих горизонтах на основі обробки інтерпретації сейсмотаписів з аналізом швидкісних параметрів хвиль та динамічних характеристик сейсмічних сигналів	Просторова будова об'єкту досліджень з визначенням положення геологічних границь, поверхонь неузгоджень, інтрузій та розшуканих зон, а також з встановленими або оціненими характеристиками літофациального складу (колекторських властивостей) та флюїдонасиченості гірських порід	Просторовий розподіл нафтогазоносних об'єктів з визначеними ємнісними та фільтраційними характеристиками продуктивних утворень, складом і параметрами флюїдів, включаючи фазові проникнення, з встановленим розподілом гідродинамічних зв'язків і заданою схемою розробки покладів, включаючи експлуатаційні показники, а також динамічну структуру (інформаційну систему) аналізу характеристик реальних та модельних процесів видобутку вуглеводневої сировини	
	Структурно-тектонічні схеми за основними седиментаційними (стратиграфічними) комплексами та диз'юнктивними дислокаціями; геоінформаційна (географічна) база даних; загальна інформація про реальні або передбачувані (за прогнозами, за аналогіями) петрофізичні й колекторські властивості геологічних утворень, включаючи ємнісні та фільтраційні параметри; загальні відомості про нафтогазоносність району з наближеними кількісними характеристиками потенційних пасток вуглеводнів і покладів; орієнтовні дані щодо промислово-фізичних властивостей	Узагальнені дані про відповідність промислово-фізичних властивостей гірських порід визначеним перспективним стратиграфічним одиницям або тектонічним блокам; стохастичні закономірності, що описують залежності розподілу перспектив нафтогазоносності відносно характерних структурних форм фундаменту та осадового чохла, прогнозні характеристики продуктивних товщ за аналогією з районами нафтогазовидобування, які межують з територією досліджень	Опосередковані оцінки ємнісних та фільтраційних характеристик осадових утворень; стохастичні зв'язки між атрибутами сейсмічного хвильового поля (швидкісними і динамічними) та оціночними параметрами колекторських властивостей і насиченості колекторів; узагальнені дані про типи та діагностичні ознаки пасток нафти та газу	Функціональні або стохастичні зв'язки між визначеними властивостями колекторів та характеристиками пасток вуглеводнів розрізу; прогнозні параметри таких пасток та дані про пластові умови за аналогією з відомими продуктивними об'єктами	Дані про стан насиченої товщі, в першу чергу, – тиски й очікувані дебіти свердловин	
	Проектування регіональних досліджень	Проектування регіональної або пошукової 2D сейсморозвідки	Проектування детальної сейсморозвідки 2D, 3D, пошукового буріння	Проектування високо-роздільної сейсморозвідки 3D, розвідувального буріння	Проектування розробки покладів та моніторингу експлуатації родовища	

Будь-яке моделювання, в тому числі й геологічне, припускає, що ми замінюємо реальний природний об'єкт на деяке уніфіковане уявлення про нього. При цьому доводиться висувати гіпотези як про незначні відхилення тих чи інших властивостей реального об'єкта від прийнятих значень параметрів моделі, так і про геологічні процеси, які в подальшому можуть і не підтвердитися.

Моделювання та геологічні моделі:

1) Об'єкт.

Процес переходу об'єкта від одного типу до іншого знаходить відображення як у стадійності пошуково-розвідувальних робіт, так і в категорійності запасів і ресур-

сів нафти та газу. Це відноситься й до об'єктів типу резервуарів, у яких відбуваються гідродинамічні процеси. Таким чином, стадійність нафтового проекту визначає різницю між геологічними об'єктами на різних етапах.

2) Параметри й характеристики об'єкту.

Група 1 – прямі характеристики геологічного середовища: пористість, глибина покрівлі, нафтогазонасиченість і т. ін.

Група 2 включає непрямі характеристики геологічного середовища, що дозволяють визначити або розрахувати параметри групи 1: позірний опір, час пробігу хвилі

t_0 та ін. Необхідно враховувати зміни параметрів у просторі залежно від розмірів моделі й поставлених задач.

3) Процес моделювання.

Постановка завдання.

Збір вихідних даних. Для нафтових проектів – це дані сейсмо-, граві- й магніторозвідки, ГІС, аналіз керна, фізико-хімічних властивостей, результати випробувань та ін.

Верифікація даних – аналіз якості даних і видалення з подальшого моделювання бракованих або недостовірних даних, перевірка на відповідність різних методів. Обов'язки фахівців: знання роздільної здатності методів та їх достовірності, розуміння можливих технічних чи технологічних особливостей отримання інформації.

Моделювання – перерахунок непрямих геолого-геофізичних параметрів у характеристики середовища, або інтерпретація даних, інтерполяція точкових даних на весь геологічний обсяг, побудова моделі, аналіз результатів та їх оцінка.

4) Розробка та експлуатація.

Побудова тривимірних моделей на основі дослідних робіт та архівних даних. Вихідна інформація, її повнота й достовірність багато в чому визначають точність і коректність моделей.

Архіви – забезпечення збереження, доступності та повноти інформації. Люди, що формують архіви, не несуть відповідальності за якість даних, коректність їх отримання, підтвердження їх подальшими дослідженнями тощо.

Отримані результати зберігаються в *базах даних*, які відрізняються від архівів перевіркою однозначності інформації, достовірністю та програмним забезпеченням.

Геологічні моделі. Для нормального інформаційного забезпечення нафтових проектів необхідна наявність усіх трьох елементів: архівів, баз даних і геологічних моделей.

5) Створення та моніторинг геологічних моделей.

Відмінна особливість моделей полягає в тому, що вони не просто створюються на якійсь стадії нафтового проекту, але й мають можливість розвитку, уточнення, моніторингу. Набір засобів, у тому числі й комп'ютерних, для інтерпретації та інтерполяції параметрів, ув'язування методів, що мають різну роздільну здатність, дуже великий, тому "повторення експерименту" неможливе.

Сейсмогеологічна модель – як частковий випадок комплексної ГІМ. Серед геофізичних методів сейсморозвідки займає домінуючу позицію у технологічному ланцюжку моделювання родовищ ВВ. Окрім традиційних задач встановлення геометричної будови нафтогазоносних об'єктів, останнім часом став можливим перехід до безпосереднього визначення фізичних параметрів середовища за сейсмічними даними [13]. Зокрема, на сучасному етапі важливою складовою геологорозвідувального процесу є сейсмічні дослідження, для яких досконалість методики спостережень, якість обробки й інтерпретації даних значною мірою обумовлюють достовірність прогнозування геологічної будови продуктивних структур.

Геологічна модель розв'язує статичну задачу відтворення геометричної структури нафтогазонасичених комплексів і розподілу щільності запасів у об'ємі. Така модель є базовою на подальших етапах моделювання з визначеними функціями оперування даними, розрахунками та візуалізацією результатів.

Хоча сейсмічні методи моделювання родовищ нафти та газу на даний час широко застосовуються в Україні, однак, з певних причин, у вітчизняній літературі цей напрямок висвітлений порівняно мало. Натомість, у міжнародній практиці розробки покладів ВВ сейсмічні методи моделювання посідають важливе місце.

Геолого-математичне моделювання застосовується для кількісного аналізу систем розробки покладів ВВ та

експериментального обґрунтування робочого процесу експлуатації. Геолого-математична модель – формальний опис пластових умов, явищ та процесів, які відбуваються при розробці. Геолого-математичне моделювання має значно довшу історію розвитку, детально розроблену теоретичну базу, програмне забезпечення.

На даний час відбувається об'єднання сейсмогеологічного та геолого-математичного методів моделювання, які спрямовані на відтворення структури родовища, що стає в сучасному світі ключовим інструментом при розробці родовищ ВВ.

З метою отримання достовірних результатів про стан продуктивних покладів та оточуючих порід, структурних особливостей, виокремлення інженерно-геологічних комплексів (залежно від масштабу задач, що розв'язуються), постає завдання створити таку модель родовища, яка б містила всю необхідну інформацію з можливістю її систематизації, статистичної обробки фізико-геологічних властивостей порід і встановлення основних зв'язків між ними, аналізу інформації.

Цифрові геологічні моделі в основному являють собою формалізований образ у вигляді набору окремих шарів геологічного середовища. Варіації параметрів, які описують основні характеристики порід у пластах (параметричне наповнення моделі), і геометрія пластів (структурний каркас моделі) дають змогу досягнути необхідної математичної апроксимації реального геологічного середовища, що дозволяє розв'язувати ті чи інші інтерпретаційні задачі – від підбору акустичних параметрів середовища методом сейсмічної інверсії до підрахунку запасів і проведення гідродинамічних розрахунків [7].

Однією з найбільших проблем при проведенні геологічного моделювання є вибір детальності моделі, кількості шарів та комірок з набором фіксованих параметрів. Детальність апроксимації реального геологічного розрізу, з одного боку, повинна забезпечувати розв'язання поставленої інтерпретаційної задачі, а з іншого, – бути тісно пов'язаною з роздільною здатністю методів геофізики та можливостями обчислювальної техніки.

Основою структурного каркасу цифрової геологічної моделі, як правило, є поверхні, отримані шляхом відслідковування на часових розрізах і наступного картування так званих реперних, чи опорних, сейсмічних горизонтів.

Для більшості моделей зазначених вище параметрів достатньо, але як для "демонстраційних" моделей. Однак, якщо використовувати модель для розв'язання конкретних виробничих чи наукових задач (інтерпретаційних), необхідно дотримуватися конкретних вимог. Такі моделі зуться "ефективними" [7].

Один з найвизначніших учених у галузі сейсморозвідки, І.І. Гурвіч, зазначає, що в умовах складного геологічного середовища зворотна задача теорії сейсморозвідки є некоректною та неоднозначною. Використання додаткової інформації надає можливість до певної міри зменшити неоднозначність розв'язку на геологічному та геофізичному рівні тлумачення математичних результатів.

Ефективна сейсмогеологічна модель – це спрощене представлення геологічного реального розрізу, для якого розрахункове поле пружних хвиль задовільно відповідає спостереженому. Вибір моделі залежить від поставленої геологічної задачі, методу сейсмічної розвідки, особливості геологічного розрізу, відомих шляхів розв'язку зворотної задачі в даних умовах. Стійкість розв'язку зворотної задачі одержують шляхом побудови розрахункових схем, оптимальних у статистичному розумінні та ідеальних у розрахунковому відношенні. Останнє особливо важливо при обробці сейсморозвіду-

вальних даних, які відрізняються великим обсягом вихідної інформації.

Як зазначає С.М. Глибоковських, ефективні значення сейсмічних властивостей – це осереднені значення в масштабах довжини хвилі [3]. Такий висновок зроблено на підставі співвідношення між характерними просторовими та часовими масштабами сейсмічних сигналів і елементів структури середовища, що досліджується.

Застосовуючи метод осереднення з відомими параметрами форми тріщин середовища, фізичного змісту їх деформування та ін., апіорної геолого-геофізичної інформації, можна сформувати сейсмоакустичну модель тріщинно-порового колектору, наближену до реального геологічного середовища. Далі на її основі розробити процедури обробки та інтерпретації сейсмічних спостережень, які оптимально відповідатимуть досліджуваному об'єкту. Такий послідовний підхід дає можливість отримувати обґрунтований сейсмічний прогноз колекторських властивостей нафтогазових резервуарів [3].

В.І. Бондарев, С.М. Крилатков, І.А. Курашова демонструють технології отримання швидкісних моделей геологічних середовищ на основі використання дифрагованих хвиль [1]. Для реалізації подібної технології необхідною умовою є те, що у рівняння має входити величина швидкості пружних хвиль. В основу таких перетворень покладено ефективну швидкісну модель. Щоб підібрати ефективну величину швидкості для різних глибин, група авторів проводить аналіз вихідних сейсмограм (апіорних) без застосування будь-яких інших спостережень. Для цього може бути застосована модернізована технологія побудови вертикальних спектрів швидкостей за сейсмограмами спільної точки вибуху, яка нагадує стандартний спосіб отримання вертикальних спектрів швидкостей у МСГТ (метод спільної глибинної точки). Проведені дослідження свідчать про те, що швидкісний аналіз, який виконується за вказаною технологією, дозволяє побудувати швидкісну модель, яка характеризує середовище не тільки з виокремленням динамічних особливостей відбитих хвиль, але й відкриває можливість визначення моделі середовища на основі використання дифракційних і розсіяних компонент хвильового поля. Дана методика, частіше за все, може бути використана у випадках, коли дифракційні та розсіяні компоненти хвильового поля є основним інструментом вивчення будови геологічного середовища. Такі задачі є найбільш актуальними у випадку, коли основним завданням сейсморозвідки є задача вивчення областей підвищеної тріщинуватості у колекторах на родовищах нафти та газу. Функціональні залежності заповнення пастки визначаються експертною оцінкою, виходячи з наявності та кількості інформації та уявлення про можливе розповсюдження літофаціальних, петрофізичних та фільтраційно-ємнісних властивостей у межах площі досліджень.

Згідно із загальноприйнятими уявленнями, під моделюванням покладів слід розуміти процес відображення природних (геологічних) утворень у сукупності характеристик, які описують найбільш важливі змістовні властивості об'єктів (структурні форми залягання, насиченість, проникність порід, розподіл тисків, параметри флюїдонасичення тощо).

Висновки. Актуальність розвитку напрямку моделювання зумовлюється нагальною необхідністю подальшого розвитку теоретичних основ і практичних прийомів інтегрованої обробки та інтерпретації кінематико-динамічних параметрів сейсмічних хвиль, які при комплексуванні з даними буріння забезпечують достовірну ГГМ нафтових і газових резервуарів. Важливе місце під час моделювання посідає поняття ефективної сейсмогеологічної моделі.

Описані підходи орієнтовані на автоматизацію всього процесу аналізу та обробки інформації, що починається введенням первинних сейсмічних даних, їх обробкою, інтерпретацією та створенням моделі площі або родовища з подальшим підрахунком ресурсної бази.

На сучасному етапі розвитку геологічне моделювання з використанням комп'ютерних технологій потребує формалізації ряду процедур, відповідності методик моделювання загальнонауковим підходам і принципам.

На перший план під час побудови моделей повинна виступати інтеграція наявних геолого-геофізичних та геолого-технологічних даних у єдину постійно діючу модель досліджуваного геологічного об'єкту. Сучасний розвиток програмно-обчислювальних засобів, як у програмному, так і в апаратному відношенні, дозволяє оперувати значними масивами інформації, інтегруючи в собі різноманітні геологічні та технологічні дані, які мають містити всю необхідну інформацію з можливістю її систематизації, статистичної обробки фізико-геологічних властивостей порід і встановлення основних зв'язків між ними, аналізу наявної інформації.

Однак, незважаючи на значні доробки в плані моделювання перспективних об'єктів та їх параметрів, розвитку програмно-обчислювальних засобів, все ж лишаються відкритими питання, пов'язані з підвищенням однозначності визначення ключових параметрів моделей. Питання актуальності вдосконалення засобів та методик моделювання буде постійно підніматися як на виробництві, так і в науковому світі, оскільки постійно йде розвиток обчислювальної техніки, збільшується масиви отриманої геолого-геофізичної та геолого-промислової інформації, зростає потреба пошуків і розвитку родовищ ВВ на об'єктах зі складними сейсмогеологічними умовами.

Список використаних джерел

1. Бондарев В. И. Основы сейсморазведки : учеб. пособие для вузов / В. И. Бондарев. – Екатеринбург : Изд-во УГГГА, 2003. – 332 с.
2. Глебов А. Ф. Развитие математических методов трехмерного сейсмогеологического моделирования сложнопостроенных изотропных и анизотропных резервуаров нефти и газа [Текст] : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.10 / А. Ф. Глебов. – М., 2006. – 50 с.
3. Глибоковських С. М. Эффективные сейсмоакустические характеристики трещиноватых коллекторов и их прогноз по данным многоволновой сейсморазведки МОВ-ОГТ [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 25.00.10 / Глибоковських С. М. – М.: МГУ, 2012. – 124 с.
4. Горбунов В. І. Обґрунтування, розробка та випробування технології побудови комплексних фізико-геологічних моделей об'єктів нафтогазоносності на акваторіях Чорного та Азовського морів [Текст] : звіт про НДР / В. І. Горбунов. – К., 2009. – 156 с.
5. Дюбрал О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных [Текст] : пер. с англ. / О. Дюбрал. – European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), 2002. – 296 с.
6. Козлов Е. А. Модели среды в разведочной сейсмологии / Е. А. Козлов. – Тверь : Изд-во ГЕРС, 2006. – 480 с.
7. Крылов Д. Н. Технология оптимального выбора детальности цифровой геологической модели в зависимости от поставленной задачи / Д. Н. Крылов, Л. А. Наумова // Вести газовой науки. – 2012. – № 2 (10). – С. 30-34.
8. Пузырев Н. Н. Интерпретация данных сейсморазведки методом отраженных волн / Н. Н. Пузырев. – М. : Гостоптехиздат, 1959. – 451 с.
9. Ризниченко Ю. В. Геометрическая сейсмика слоистых сред / Ю. В. Ризниченко. – М. : АН СССР, 1946. – 114 с.
10. Рыскин М. И. Комплексная интерпретация геофизических данных : учеб. пособие для студентов вузов / М. И. Рыскин, К. Б. Сокулина. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 2007. – 132 с.
11. Урупов А. К. Сейсмические модели и эффективные параметры геологических сред : учеб. пособие : в 2-х ч. / А. К. Урупов. – М., 1984. – Ч. 1. – 85 с. ; Ч. 2. – 104 с.
12. Успенская Л. А. Р-Т моделирование упругих свойств пород с учетом литологического состава и типа заполняющего флюида (на примере месторождений Уренско-Усановской зоны) / Л. А. Успенская. – М. : МГУ, 2014. – 123 с.
13. Цибульский В. О. Комплексна геолого-геофізична модель нижньомайкопських відкладів Прикерченського шельфу [Текст] : автореф. дис. ... канд. геол. наук : 04.00.22 / В. О. Цибульський ; [Київський національний університет імені Тараса Шевченка]. – К. : [б. и.], 2013. – 20 с.

14. Шпильман А. В. Геологическое моделирование. Создание и мониторинг геологических моделей / А. В. Шпильман, С. Ю. Шутько // Геология нефти и газа. – 1999. – № 3-4. – С. 49-53.

15. Mavko G. The Rock Physics Handbook : Tools for Seismic Analysis of Porous Media / G. Mavko, T. Mukerji, J. Dvorkin. – Second Edition. – New York : Cambridge University Press, 2009.

References

1. Bondarev, V. (2003). Fundamentals of seismic exploration. Ekaterinburg: Publishing UGGA. [in Russian].

2. Glebov, A. (2006). The development of mathematical methods of three-dimensional seismic geological modeling of complex isotropic and anisotropic oil and gas reservoirs: Extended abstract of Doctor's thesis (Geological and Mineralogical Sciences). Moscow: Lukoil. [in Russian].

3. Glubokovsky, S. (2012). Effective seismic acoustic characteristics of fractured reservoirs and forecast full-wave seismic reflection-CMP data. Doctor's thesis (Geophysics). Lomonosov Moscow State University, Moscow. [in Russian].

4. Gorbunov, V. (2009). Justification, design and testing technology for building complex physical and geological models of oil and gas facilities in the Black and Azov Seas. Kyiv: Report on research work. [in Ukrainian].

5. Dubrule, O. (2003). Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists & European Association of Geoscientists and Engineers, 281 pp.

6. Kozlov, E. (2006). Models of environment in exploration seismology. Tver: GERS Publishing. [in Russian].

7. Krylov, D., Naumova, L. (2012). Technology of optimal choice of detail digital geological model, depending on the task. Vesti gazovoi nauki - News of gas sciences, 2(10), 30-34. [in Russian].

8. Puzyrev, N. (1959). Interpretation of seismic data by the reflected waves. Moscow: Gostoptekhizdat. [in Russian].

9. Riznichenko, Y. (1946). Geometric seismic layered media. Moscow: USSR Academy of Sciences. [in Russian].

10. Riskin, M., Sokulina, K. (2007). Integrated interpretation of geophysical data. Textbook for university students. Saratov: Saratov University Publishing. [in Russian].

11. Urupov, A. (1984). The seismic models, and the effective parameters of the geological environment. (Vols. 1-2). Moscow. [in Russian].

12. Uspenskaya, L. (2014). Modeling of elastic properties of rocks based on lithology and fluid filling type (for example, deposits of Urenskoye-Usanovskazone). Moscow: Lomonosov Moscow State University. [in Russian].

13. Tsybul'skiy, V.O. (2013). Integrated geological-geophysical model of Lower Maykopian deposits within the Kerch shelf. Candidate's thesis (Geophysics). Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv. [in Ukrainian].

14. Shpilman, A., Shutko, S. (1999). Geological modelling. Creating and monitoring of geological models. Geologiya nefi i gaza - Oil and gas geology, 3-4, 49-53. [in Russian].

15. Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin, J. (2009). The Rock Physics Handbook. Tools for Seismic Analysis of Porous Media. Second Edition. New York: Cambridge University Press.

Надійшла до редколегії 10.06.15

T. Kuzmenko, Postgraduate Student

E-mail: kuzmenko_tm@ukr.net

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

E-mail: aptyshchenko@gmail.com

P. Kuzmenko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: pavlokn@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATING OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MODEL OF HYDROCARBON FIELDS

New aspects of geological and geophysical models constructions of hydrocarbon reservoirs are considered and outlined the prospect of models application in the modern exploration process. The history of the concepts and methods of geological and geophysical constructions models were analyzed. The approaches focused on automating the entire process of analysis and information processing starting from seismic data processing, interpretation ending with model construction of an area or a field and exploitation are characterized. The classification of geological and geophysical models on the exploration stage is described.

Keywords: integrated geological-geophysical model of the reservoir (GGM), hydrocarbon deposits, synthetic modeling of the seismic data, the effective seismogeological model, modeling techniques.

T. Кузьменко, асп.

E-mail: kuzmenko_tm@ukr.net

A. Тищенко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: aptyshchenko@gmail.com

P. Кузьменко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: pavlokn@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

В работе рассмотрены аспекты построения геолого-геофизических моделей месторождений углеводородов и очерчена перспектива их применения в современном геологоразведочном процессе. Проведен ретроспективный анализ представлений и методики построения геолого-геофизических моделей. Охарактеризованы подходы, ориентированные на автоматизацию всего процесса анализа и обработки информации, начиная с ввода первичных сейсмических данных, их обработки, интерпретации, заканчивая созданием модели площади или месторождения и их эксплуатацией. Приведена классификация геолого-геофизических моделей по стадиям геологоразведочных работ.

Ключевые слова: комплексная геолого-геофизическая модель месторождения (ГГМ), месторождение углеводородов, синтетическое моделирование сейсмических данных, эффективная сейсмогеологическая модель, методы моделирования.

УДК 550.8.056

К. Тройніч, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: k.stan@i.ua

КОМПЛЕКСНА ІНВЕРСІЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

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

У роботі запропоновано оновлений підхід до виконання комплексної інверсії комплексу геофізичних даних на основі моделювання петрофізичних властивостей порід. Рекомендованими для інверсії є дані, насамперед, методів сейсморозвідки та гравірознвідки, проте підхід не має принципових обмежень включення даних інших геофізичних методів (за умови, що зв'язок між геофізичними параметрами існує).

Інверсія даних сейсморозвідки виконується із використанням методу променевої сейсмічної томографії, де мінімізується нев'язка спостережених та змодельованих часів пробігів хвиль. Інверсія даних гравірознвідки виконується розповсюдженням надлишкової густини поміж комірок пропорційно до впливу цих комірок на точку спостереження з метою мінімізації нев'язки спостереженого і змодельованого гравітаційних полів у сенсі найменшої суми квадратів нев'язки. Спільна інверсія даних методів сейсморозвідки та гравірознвідки передбачає наявність функціонального зв'язку між параметрами швидкості пружних хвиль та густини, цей зв'язок встановлюється у результаті моделювання петрофізичних властивостей. Виконання моделювання петрофізичних властивостей здійснюється за допомогою методу умовних моментів для багатокompонентного середовища.

Основним результатом роботи є узагальнена схема виконання літологічної інверсії комплексу даних сейсморозвідки та гравірознвідки із врахуванням результатів петрофізичних моделювань. Через складність схеми рекомендовано розглядати її як генералізацію послідовності виконання різних за своєю природою задач, кожна з яких може бути розв'язана декількома методами. У літературі описана значна кількість методів та алгоритмів розв'язання цих задач. У даній статті вказано лише ті, які використовуються автором для практичної реалізації описаного підходу.

Практична значимість запропонованої схеми полягає в можливості здійснення літологічної характеристики розрізу із врахуванням всієї наявної геолого-геофізичної інформації. При цьому результати інверсії даних окремих геофізичних методів узгоджені між собою та відповідають фізичним властивостям порід із заданим діапазоном концентрації мінералів при заданих термобаричних умовах.

Ключові слова: геофізична томографія, інверсія, літологічна інверсія, моделювання

Вступ. Поступово із розвитком технологій та вичерпання родовищ корисних копалин із простою геологічною будовою складність моделей геологічного середовища значно зросла. Це призвело до того, що виникла необхідність враховувати такі фактори, як температура і тиск, напружено-деформований стан, орієнтація систем тріщин, анізотропія тощо. Також на зміну інверсії даних геофізичних методів незалежно один від одного прийшла інверсія комплексу геофізичних даних, що дозволяє значно зменшити неоднозначність вирішення оберненої задачі.

У даній роботі інверсію комплексу геофізичних даних передбачається виконувати за допомогою геофізичної томографії. Класичними роботами з сейсмічної томографії вважаються [7-10]. Історичний огляд розвитку методу сейсмічної томографії подано в роботі [6] з фокусом на області застосування та в роботі [16] з позиції зміни вимог до моделей отриманих в результаті інверсії та розвитку технологій.

Автор спирається в першу чергу на роботи дослідників Київського національного університету імені Тараса Шевченка С.А. Вижви, Г.Т. Продайводи та І.В. Віршила, які зробили значний вклад у розвиток напрямку літологічної інверсії комплексу методів геофізичних даних [1, 2, 4]. Дана робота є розвитком ідеї використання томографії та петрофізичного моделювання для літологічної інверсії комплексу даних сейсморозвідки та гравірознвідки, що викладена в роботі [15], написаній автором спільно з І.В. Віршилом та Б.В. Матвійчуком, та полягає в модифікації запропонованого підходу для можливості його практичної реалізації.

Незважаючи на велику кількість методів спільної інверсії, більшість з них не передбачає врахування зміни значень петрофізичних параметрів з глибиною та тиском, а при визначенні зв'язку між геофізичними параметрами спирається на статистичні дані, які не дають розуміння літологічних особливостей породи.

Основним завданням цієї статті є розробка такого методу спільної інверсії сейсмічних та гравітаційних даних, в якому значення геофізичних параметрів та

зв'язок між ними контролюється результатами моделювання петрофізичних властивостей.

Теорія методу. У попередній публікації з цього напрямку досліджень автор разом із співавторами прийшли до наступної схеми виконання інверсії комплексу сейсмічних та гравітаційних даних на основі моделювання петрофізичних властивостей [15] (рис. 1). Дана схема є інверсією на основі моделі та передбачає ітеративне оновлення моделі першого наближення таким чином, щоб забезпечити найменшу нев'язку спостережених та змодельованих геофізичних даних. Відповідно до задуму процес інверсії ділиться на три етапи: збір геофізичних даних та всієї можливої апіорної інформації (геологічні звіти, результати буріння тощо), побудова моделі першого наближення та підготовка геофізичних даних до інверсії (зняття відліків часів пробігів сейсмічних хвиль, вирахування регіонального гравітаційного фону тощо) та власне інверсії. В роботі [15] пропонується виконувати інверсію оновлюючи значення не геофізичних параметрів, а літологічного складу. Таким чином, забезпечується геологічна "правдивість" інверсії, оскільки можливі значення геофізичних параметрів контролюються допустимою концентрацією мінералів, структурою породи та термобаричними умовами. По суті, рис. 1 пропонує схему інверсії геофізичних даних безпосередньо в літологічну характеристику розрізу.

Згідно з [15], склад породи визначається не лише концентрацією мінералів, але і порового простору, заповненого певним флюїдом. У загальному випадку для інверсії пропонується використовувати метод найменших квадратів із глобальною оптимізацією методом кубічної інтерполяції [15].

Параметри моделі. Досліджуваний підпростір розбивається на набір прямокутних паралелепіпедів – комірок. Комірки можуть бути згруповані у рядки, стовпчики та секції. Секції являють собою вертикальні площини, направлені вхрест напрямку рядків. У випадку двовимірної задачі розглядається одна секція. На рис. 2 зображений приклад секції: висота рядків та ширина стовпчиків задається незалежно, що дозволяє мати

більшу кількість комірок незначного розміру в зоні інтересу без істотного збільшення кількості комірок моделі.

Кожна комірка описується вектором параметрів, таких, як швидкість/повільність, густина, температура, тиск, клас породи, концентрація мінералів, структура порового простору тощо. Не всі параметри відомі в процесі інверсії, проте основний задум полягає в тому, щоб отримати повну літологічну характеристику части-

ни досліджуваного простору в процесі інверсії. Деякі параметри можуть бути обчислені або оцінені на основі інших параметрів. Наприклад, величина літостатичного тиску в комірці може бути оцінена як тиск, який створюють всі вищеяляючі комірки заданого стовпчика моделі. Значення параметрів у межах комірки можна вважати постійним, або таким, що змінюється за певним законом (залежно від потреб досліджень).

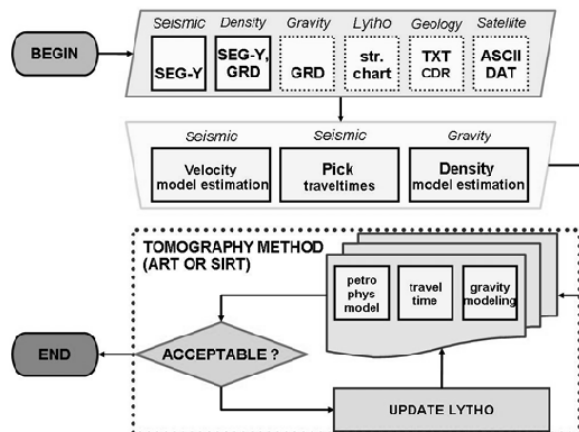


Рис. 1. Схема виконання літологічної інверсії сейсмічних та гравітаційних даних на основі моделювання петрофізичних властивостей за [15]

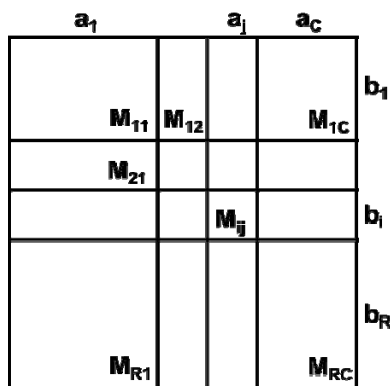


Рис. 2. Поділ секції (двовимірної моделі) на C стовпчиків та R рядків за допомогою нерегулярної сітки:

M_{ij} – вектор, що описує набір параметрів моделі в i -му рядку та j -му стовпчику,

a_j та b_i – ширина j -го стовпчика та висота i -го рядка відповідно

Інверсія геофізичних даних. Для інверсії геофізичних даних обрано метод томографії, суть якого полягає у відновленні модельної функції на основі проєкцій. Томографічний метод чудово зарекомендував себе при вирішенні великої кількості задач сейсморозвідки, пов'язаних із відтворенням розподілу швидкості або поглинаючих властивостей [6]. Для знаходження розподілу швидкостей пропонується використовувати метод томографічної інверсії часів пробігів сейсмічних хвиль, для якого на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка було розроблено власний алгоритм, який використовує метод одночасної ітеративної реконструктивної томографії для оновлення швидкісної моделі та теорію мереж для трасування променів через швидкісну модель [5]. Важливою особливістю розробленого алгоритму є те, що під час інверсії положення глибин відбиваючих горизонтів вважається відомим та не змінюється. Тому для коректної інверсії дуже важливо використовувати всю наявну апіорну інформацію, таку як результати буріння, кореляційні схеми тощо.

Для інверсії гравітаційних даних можна використовувати будь-який метод, що здатний дати прийнятні результати для даних геологічних умов та характеру

поля. Наприклад, робота [12] є класичним підходом з інверсії гравітаційних та магнітних даних. Проте використання інверсії гравітаційних даних у вигляді окремої задачі не рекомендується. Набагато достовірніші результати можна отримати в результаті інверсії комплексу гравітаційних та сейсмічних даних. Серед багатьох методів інверсії комплексу геофізичних даних можна виділити одночасну та послідовну інверсію сейсмічних та гравітаційних даних [13]. Автор тяжіє до одночасної інверсії комплексу даних, при якому встановлюється взаємозв'язок між геофізичними параметрами, які отримуються в результаті інверсії.

Моделювання петрофізичних властивостей. Для моделювання значень ефективних геофізичних параметрів заданого речовинного складу та структури можна використовувати метод умовних моментів для багатокомпонентного середовища [3]. На рис. 3 наведено схему моделі багатокомпонентного середовища зі включеннями різної форми, орієнтації та складу, на основі якої розраховуються пружні модулі порід заданого складу та структури під час моделювання [15]. У випадку ізотропної моделі шуканими параметрами будуть густина та два незалежні пружні модулі, через які можна обчислити швидкість пружних хвиль.

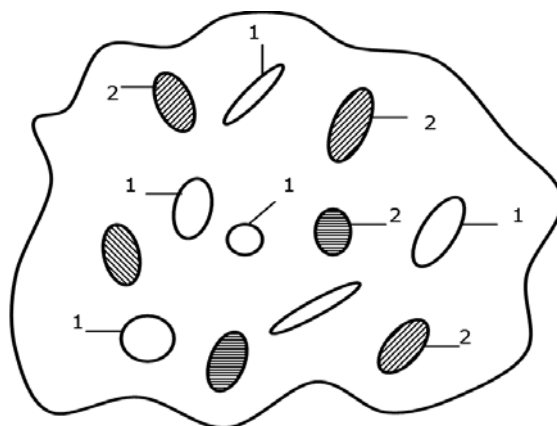


Рис. 3. Схема матрично-текстурної багатокомпонентної моделі порід:
еліпсами з позначкою 1 показано включення з однаковими пружними властивостями, але різної форми,
а з позначкою 2 – включення з різними пружними властивостями за [15]

Окрім складу та структури породи, фізичні властивості якої моделюються, необхідно врахувати вплив температури та тиску на зміну оцінюваних геофізичних параметрів. Метод врахування термобаричних умов детально продемонстровано в роботі [11]. Знання пружних модулів, густини та коефіцієнту теплового розширення для всіх компонентів моделі, а також похідних цих параметрів від тиску та температури є необхідним для розрахунків ефективних геофізичних параметрів при заданих термобаричних умовах. Для цих цілей пропонується використовувати таблицю згаданих параметрів та їх похідних [11]. Дана таблиця є компіляцією значної кількості досліджень фізичних властивостей мінералів у різних термобаричних умовах. Окрім пружних властивостей та густини мінералів, також варто враховувати зміну пружних властивостей флюїдів, що заповнюють поровий простір. Як вже згадувалось вище – величина тиску може бути оцінена як тиск, який створюють маси, що залягають вище. Для оцінки температури можуть бути використані дані геофізичних досліджень свердловин або інверсії даних теплового потоку [15].

Нова схема реалізації методу. На рис. 4 наведено схему реалізації літологічної інверсії комплексу геофізичних даних із врахуванням даних петрофізичних властивостей. При побудові цієї схеми було використано модель виконання томографічної інверсії [14] та схему комплексної (joint) інверсії сейсмометричних та гравіметричних даних [13]. У даній схемі під спостереженнями

геофізичними полями розуміють попередньо оброблені та відповідним чином підготовані дані. Для сейсмічної променевої томографії такими даними будуть часи пробігу сейсмічних променів (прямих, відбитих чи заломлених). У випадку гравіметричного методу під спостереженням полем будемо розуміти аномальне поле, тобто таке, з якого видалені регіональні поля та прибраний вплив рельєфу та інших факторів. Замість поля сили тяжіння можуть бути використані його трансформаційні перетворення або градієнти (виміряні чи обчислені). Метою петрофізичних моделювань є оцінка можливих значень геофізичних параметрів для заданого діапазону концентрації мінералів та структури порід в певних термобаричних умовах. Замість традиційного використання даних буріння та геофізичних досліджень свердловин для побудови кореляційних зв'язків між літологією та геофізичними параметрами пропонується використовувати ці дані для перевірки коректності літологічної моделі, яка використовується для петрофізичних моделювань. Іншим важливим аспектом петрофізичних моделювань є встановлення функціонального зв'язку між окремими геофізичними параметрами. Цей зв'язок є основою отримання коректних поправок до параметрів моделі з метою зменшення нев'язки між спостереженими та змодельованими даними таким чином, щоб значення геофізичних параметрів не суперечили один одному на етапі літологічної інверсії.

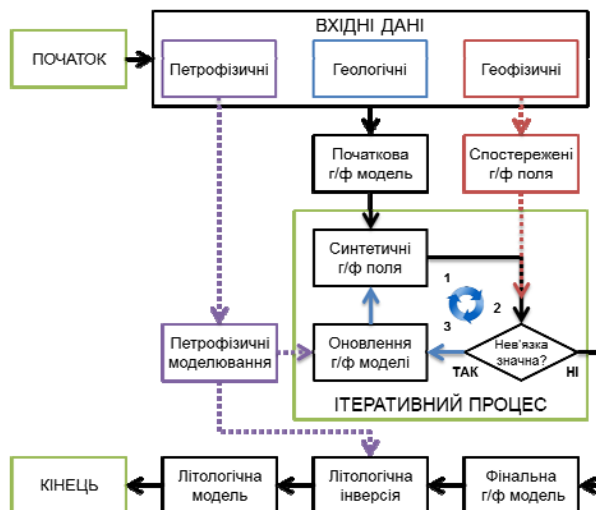


Рис. 4. Схема літологічної інверсії комплексу геофізичних даних на основі петрофізичного моделювання:
суцільними лініями показано основну послідовність виконання інверсії,
пунктирними – спосіб використання окремих категорій вхідних даних на різних етапах інверсії

Основна відмінність від схеми, зображеної на рис. 1, полягає в тому, що розрахунок петрофізичних властивостей та взаємозв'язків між значеннями петрофізичних параметрів винесено за межі ітеративного циклу оновлення моделі, так само, як і літологічну інверсію, яка тепер виконується один раз наприкінці інверсії. Дана схема є значним відходом від основної ідеї роботи [15], що полягає саме у виконанні інверсії геофізичних даних шляхом оновлення літологічного складу. Таким чином, мав забезпечуватись геологічний сенс інверсії (геофізичні параметри ніколи не набудуть значень, які є неможливими для порід заданого складу та структури в заданих термобаричних умовах). Також в роботі [15] стверджується, що виконання інверсії на основі літологічного складу також має на меті унеможливити ймовірність того, що отримані геофізичні параметри можуть відповідати різному літологічному складу, у випадку, якщо геофізичні поля інвертувались незалежно та без врахування петрофізичних даних. Автор цілком погоджується з цими положеннями, але працюючи над втіленням цього теоретичного задуму в життя, дійшов висновку, що виконання моделювання значень ефективних геофізичних параметрів та літологічної оптимізації на кожній ітерації для кожної комірки моделі робить такий підхід занадто трудомістким з точки зору обчислювальної складності та обчислювальних потужностей, необхідних для розв'язання задачі інверсії у прийнятний проміжок часу. Схема на рис. 4 забезпечує обидва зазначені фактори – геологічний сенс та непротиворіччя геофізичним параметрам за рахунок петрофізичного моделювання, результати якого виступають у ролі обмежень можливих значень геофізичних параметрів, та їх непротиворіччя під час ітеративного оновлення геофізичних параметрів, а також основою для інверсії геофізичних параметрів у літологічний склад на заключному етапі інверсії. Таким чином, досягається суттєве зменшення кількості обчислень із збереженням ролі петрофізичного моделювання в процесі інверсії.

Висновки. В даній роботі запропоновано новий підхід до виконання літологічної інверсії комплексу даних геофізичних методів із використанням томографії та результатів петрофізичних моделювань. Даний підхід дозволяє враховувати можливі значення геофізичних параметрів для заданого діапазону концентрації мінералів та термобаричних умов. При цьому петрофізичні моделювання та літологічна інверсія виконуються лише один раз за межами ітеративного циклу, що дозволяє значно виграти в часі обчислень.

Список використаних джерел

1. Вижва С. А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів / С. А. Вижва. – Київ: Обрії, 2004. – 234 с.
2. Вижва С. А. Методологічні і теоретичні принципи сейсмогравітаційної томографії / С. Вижва, Г. Продайвода, І. Віршило // Вісник Київського університету. Геологія. – 2010. – Вип. 48. – С. 29-33.
3. Продайвода Г. Т. Математичне моделювання геофізичних параметрів : Навчальний посібник / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва. – К.: ВЦ "Київський університет", 1999. – 112 с.
4. Сейсмогравітаційний метод визначення мінерального складу геологічного середовища / Г. Т. Продайвода, І. В. Віршило, О. А. Козіонова, Т. Г. Продайвода // Вісник Київського університету. Геологія. – 2005. – Вип. 34-35. – С. 58-61.
5. Тройніч К. С. Ефективний алгоритм сейсмічної променевої томографії при обробці великих масивів сейсмічних даних / К. С. Тройніч, С. А. Вижва // Вісник Київського університету. Геологія. – 2014. – Вип. 3(66). – С. 77-82.
6. Тройніч К. С. Геофізична томографія: сучасний стан та перспективи впровадження для розв'язання задач нафтогазової геології / К. С. Тройніч, Б. В. Матвійчук, С. А. Вижва // Вісник Київського університету. Геологія. – 2014. – Вип. 4(67). – С. 59-63.

7. Aki K. Quantitative Seismology. Theory and Methods. Vol. II / K. Aki, P. G. Richards [ed. W. H. Freeman]. – San Francisco, 1980. – 373 p.
8. Anderson D. L. Seismic tomography / D. L. Anderson, A. M. Dziewonski // Scientific American. – 1984. – № 10. – P. 60-68.
9. Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media / T. N. Bishop, K. P. Bube, R. T. Cutler et al. // Geophysics. – 1985. – № 50(6). – P. 903-923.
10. Chiu S. K. L. Tomographic determination of three-dimensional seismic velocity structure using well logs, vertical seismic profiles, and surface seismic data / S. K. L. Chiu, R. R. Stewart // Geophysics. – 1987. – № 8. – P. 1085-1098.
11. Hacker B. R. Subduction Factory 3: An Excel worksheet and macro for calculating the densities, seismic wave speeds, and H₂O contents of minerals and rocks at pressure and temperature / B. R. Hacker, G. A. Abers // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2004. – № 1. – P. 1-7.
12. Li Y. 3-D inversion of gravity data / Y. Li, D. W. Oldenburg // Geophysics. – 1998. – № 63(1). – P. 109-119.
13. Lines L. R., Schultz A. K., Treitel S. Cooperative inversion of geophysical data / L. R. Lines, A. K. Schultz, S. Treitel // Geophysics. – 1998. – № 1. – P. 8-20.
14. Lo T. Fundamentals of Seismic Tomography / T. Lo, P. Inderwiessen // SEG, Geophysical Monograph Series. – 1994. – 187 p.
15. Virshylo I. From traveltimes to composition: a new inversion algorithm for seismic and gravity data / I. Virshylo, K. Troinich, B. Matviichuk // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2014. – P. 451-458.
16. Woodward M. J. A decade of tomography / M. J. Woodward, D. Nichols, O. Zdraveva et al. // Geophysics. – 2008. – № 73(5). – P. VE5-VE11.

References

1. Vyzhva, S.A. (2004). *Geofizychnyy monitoryng nebezpechnykh geologichnykh protsesiv*. Kyiv: Obriy, 234 p. [in Ukrainian].
2. Vyzhva, S., Prodayvoda, G., Virshylo, I. (2010). Metodologichni i teoretychni pryntsyipy seysmogravitatsiynoyi tomografiyi. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 48, 29-33. [in Ukrainian].
3. Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A. (1999). *Matematychnye modelyuvannya geofizychnykh parametriv*. Kyiv: VTS "Kyivskiy universytet", 112 p. [in Ukrainian].
4. Prodayvoda, G.T., Virshylo, I.V., Kozionova, O.A., Prodayvoda T.G. (2005). Seysmogravitatsiyniy metod vyznachennya mineralnogo skladu geologichnogo seredovyscha. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 34-35, 58-61. [in Ukrainian].
5. Troynich, K.S., Vyzhva, S.A. (2014). Efektyvnyy alorytm seysmichnoyi promenevoyi tomografiyi pry obrobttsi velykykh masyviv seysmichnykh danykh. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 3(66), 77-82. [in Ukrainian].
6. Troynich, K.S., Matviychuk, B.V., Vyzhva, S.A. (2014). Geofizychna tomografiya: suchasnyi stan ta perspektyvy vprovadzhennya dlya rozvyazannya zadach naftogazovoyi geologii. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 4(67), 59-63. [in Ukrainian].
7. Aki, K., Richards, P.G. (1980). *Quantitative Seismology. Theory and Methods*. (Vol. II). W.H. Freeman (Ed.). San Francisco, 373 p.
8. Anderson, D.L., Dziewonski, A.M. (1984). Seismic tomography. *Scientific American*, Oct., 60-68.
9. Bishop, T.N., Bube, K.P., Cutler, R.T., Langan, R.T., Love, P.L. et al. (1985). Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media. *Geophysics*, 50(6), 903-923.
10. Chiu, S.K.L., Stewart, R.R. (1987). Tomographic determination of three-dimensional seismic velocity structure using well logs, vertical seismic profiles, and surface seismic data. *Geophysics*, 8, 1085-1098.
11. Hacker, B.R., Abers, G.A. (2004). Subduction Factory 3: An Excel worksheet and macro for calculating the densities, seismic wave speeds, and H₂O contents of minerals and rocks at ressure and temperature. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 1, 1-7.
12. Li, Y., Oldenburg D.W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63(1), 109-119.
13. Lines, L.R., Schultz, A.K., Treitel, S. (1988). Cooperative inversion of geophysical data. *Geophysics*, 1, 8-20.
14. Lo, T., Inderwiessen P. (1994). Fundamentals of Seismic Tomography. *SEG, Geophysical Monograph Series*, 187 p.
15. Virshylo, I., Troinich, K., Matviichuk, B. (2014). From traveltimes to composition: a new inversion algorithm for seismic and gravity data. (pp. 451-458). 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2014.
16. Woodward, M.J., Nichols, D., Zdraveva, O., Whitfield, P., Johns, T. (2008). A decade of tomography. *Geophysics*, 73(5), VE5-VE11.

Надійшла до редколегії 23.11.15

K. Troinich, Postgraduate Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: k.stan@i.ua

SIMULTANEOUS GEOPHYSICAL DATA INVERSION WITH USING PETROPHYSICAL PROPERTIES MODELING

Revised approach of joint inversion of geophysical data set carried out on the base of petrophysical properties modeling is proposed. Seismic and gravity data are recommended to be inverted. But proposed approach does not have any restrictions on using other geophysical methods (relation between geophysical parameters should exist).

Inversion of seismic data is performed by using seismic tomography with ray approximation. The method is used to minimize mismatches between observed and estimated traveltimes. Gravity inversion is made by density distribution proportionally to cell influence on observation point in order to minimize mismatches between observed and estimated gravity in least squares sense. Simultaneous inversion of seismic and gravity data is possible only if functional relation between velocity and density exists. This relationship should be established with using petrophysical properties modeling. A petrophysical property modeling are performed by using method for multicomponent media.

The main result of this paper is making of generalized scheme of lithological inversion via simultaneous inversion of seismic and gravity data and petrophysical modeling. The scheme could be treated as a set of independent problems of different nature. Each problem could be solved by various methods. A lot of other methods are widely known and their description might be found in scientific and technical publications. In this paper author describes only those methods which have been used for implementation of the proposed approach.

The practical importance of described approach is a possibility to perform lithological inversion with taking into account all available geophysical and geological data. Inversion results are also satisfy all the geophysical data (inversion results of different geophysical data sets used separately could contradict each other).

Keywords: geophysical tomography, inversion, lithological inversion, modeling.

К. Тройнич, асп.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: k.stan@i.ua

КОМПЛЕКСНАЯ ИНВЕРСИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В работе предлагается обновленный подход к исполнению инверсии комплекса геофизических данных на основе моделирования петрофизических свойств пород. Рекомендованными к инверсии являются данные, в первую очередь, методов сейсморазведки и гравиразведки, однако данный подход не имеет принципиальных ограничений для включения данных других геофизических методов (при условии существования связи между геофизическими параметрами).

Инверсия данных сейсморазведки выполняется с применением метода сейсмической томографии, где минимизируется невязка между наблюдаемыми и смоделированными временами пробега сейсмических лучей. Инверсия данных гравиразведки выполняется путем распространения избыточной плотности между ячейками пропорционально влиянию этих ячеек на точку наблюдения с целью минимизации невязки наблюдаемого и смоделированного гравитационных полей в смысле наименьшей суммы квадратов невязки. Комплексная инверсия данных методов сейсморазведки и гравиразведки предполагает наличие функциональной связи между параметрами скоростей упругих волн и плотности. Эта связь устанавливается в результате моделирования петрофизических свойств. Выполнение моделирования петрофизических свойств выполняется с помощью метода условных моментов для многокомпонентной среды.

Основным результатом работы является обобщенная схема выполнения литологической инверсии комплекса данных сейсморазведки и гравиразведки с учетом результатов петрофизических моделирований. Из-за сложности схемы, ее рекомендуется рассматривать как обобщение решения последовательности разных по своей природе задач, каждая из которых может быть решена несколькими методами. В литературе описана значительная часть методов и алгоритмов решения упомянутых задач. В данной статье упоминаются лишь те, которые используются автором для практической реализации описанного подхода.

Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности осуществления литологической характеристики разреза с учетом всей известной геолого-геофизической информации. При этом результаты инверсии данных отдельных геофизических методов согласованы между собой и отвечают физическим свойствам пород с заданным диапазоном концентрации минералов при определенных термобарических условиях.

Ключевые слова: геофизическая томография, инверсия, литологическая инверсия, моделирование.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

удк 624.131

М. Костюченко, доц., канд. геол.-мінералог. наук
E-mail: kostyuchenkon@gmail.comО. Мокієнко, інж. I кат.
E-mail: sandr2012@yandex.ruКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ
НА ТЕРИТОРІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА О.В. ФОМІНА*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік)*

Зсувні процеси на правобережній частині території м. Київ завжди викликали серйозні наслідки. Утворенню та розвитку цих процесів сприяють існуючі природні й техногенні чинники, співвідношення між якими є змінними в часі. Значної актуальності набула вказана проблема в останні роки у зв'язку зі збільшенням техногенного впливу у межах міських агломерацій та кліматичних змін. У квітні 2013 р. в результаті різкого потепління та інтенсивного сніготанення на території м. Києва утворилося більше сотні нових зсувних ділянок, у тому числі й на території Ботанічного саду імені академіка О.В. Фоміна.

Для оцінки небезпеки розвитку зсуву співробітниками кафедри гідрогеології та інженерної геології ННІ "Інститут геології" у травні 2014 р. було виконано детальне обстеження та ручне буріння свердловин по центральному перерізу зсувного тіла. Результати цих робіт (з використанням архівних матеріалів) свідчать, що у межах зсувної ділянки розвивається структурний, консеквентний зсув з чітко вираженою поверхнею ковзання, численними тріщинами в середній частині зсувного тіла та валом випирання.

Виконано розрахунки коефіцієнту стійкості схилу в різних умовах. Результати проведених досліджень і подальші спостереження свідчать, що активний стан зсувного процесу зберігається.

Ключові слова: зсув, техногенний вплив, кліматичні зміни, моніторинг геологічного середовища.

Постановка проблеми. На території м. Київ і його приміської зони описано понад 450 зсувів, складено їх кадастр з детальною характеристикою морфології та динаміки. У зв'язку зі значною небезпекою зсувних процесів, на основі досліджень зсувних ділянок було опрацьовано Генеральні схеми протизсувних заходів на території міста, виконано роботи щодо вивчення четвертинних відкладів території м. Києва та приміської зони під керівництвом М.Є. Барщевського та Т.Ф. Христофорової. Київською комплексною гідрогеологічною та інженерно-геологічною партією Міністерства геології УРСР проведено великі роботи щодо систематизації зсувів. На сьогодні науковцями Інституту геологічних наук НАН України розробляється методика та обґрунтовується моніторинг геологічного середовища зон історичної забудови м. Києва.

Разом з тим, необхідно відзначити, що значний обсяг фактичного матеріалу, накопиченого в окремих наукових закладах та проектно-розвідувальних організаціях, потребує систематизації та узагальнення з сучасних позицій з метою його використання при подальшому розвитку міста. Доцільно переглянути та поліпшити й основні нормативні документи.

У квітні 2013 р. у результаті різкого потепління й інтенсивного сніготанення на території м. Києва утворилося більше сотні нових зсувних ділянок, у тому числі, й на території Ботанічного саду імені академіка О.В. Фоміна.

Архітектор Беретті, проектуючи університет Святого Володимира (нині Київський національний університет імені Тараса Шевченка), запропонував розташувати на пусирі, який прилягав до споруджуваного корпусу, сад. У 1839 році було отримано дозвіл на закладку тимчасового ботанічного саду при університетській кафедрі ботаніки, а в кінці 1841 року сад отримав статус постійного. Площа саду складала 22,5 га, територія характеризувалася наявністю глибоких ярів і пагорбів у межах схилу долини р. Либідь.

На сьогодні Ботанічний сад імені академіка О.В. Фоміна є одним із найстаріших ботанічних закладів України. Це науково-дослідна, навчальна, освітня, природоохоронна установа, у межах якої зусиллями кіль-

кох поколінь ботаніків зібрано унікальну колекцію рослин різного географічного походження, що налічує близько 9000 видів, різновидів, форм та сортів і є однією із найчисленніших у світі.

Зсув на території Ботанічного саду активізувався на ділянці альпійської гірки, фотографія якої до теперішнього часу використовується на рекламній сторінці ботанічного саду в Інтернеті (рис. 1).

У протоколі засідання комісії, створеної в день активізації зсуву, до якої увійшли представники адміністрації Києва, Державної служби з надзвичайних ситуацій, спеціалізованого управління з протизсувних підземних робіт (СУППР) і автори статті, було вказано параметри зсуву, ймовірні причини і перелік необхідних термінових захисних заходів. Визначено, що основною причиною зсувного процесу є перезволоження ґрунтів на схилі. На сьогодні ймовірна подальша активізація зсуву, у зв'язку з чим доцільно побудувати підпірну стінку як утримуючу конструкцію.

На жаль, до цього часу ніяких суттєвих заходів, крім робіт, виконаних співробітниками саду, не було проведено, тому зсувний процес активно розвивається.

Необхідно зазначити, що у стані критичної рівноваги знаходилася й огорожа саду вздовж бульвару Тараса Шевченка, закладена на брівці схилу, яка може зазнати подальшої руйнації в результаті активізації зсувів, із наступним руйнуванням тротуару та проїзної частини.

Питання про реконструкцію огорожі Ботанічного саду взяв під особистий контроль Голова Київської міської державної адміністрації В.В. Кличко. Стара цегляна огорожа, хоча й простояла багато років, але часто ремонтувалася, бо мала стрічковий фундамент, що поступово руйнувався під впливом діючих на схилі ерозійних та зсувних процесів. Нова огорожа має пальовий фундамент, є більш надійною для даних інженерно-геологічних умов.

Результати досліджень. Протягом 2013-2015 рр. авторами статті, разом зі співробітниками Ботанічного саду, а також із запрошеними фахівцями в галузі інженерної геодинаміки, проводилися регулярні обстеження ділянки активізації зсувного процесу.

В рамках угоди про творчу співпрацю між ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (КНУ) та СУППР (а саме, між авторами статті та головним спеціалістом СУППР В.П. Боковим) ця ситуація неодноразово аналізувалася й було намічено конкретні дії та заходи. Встановлено, що для стабілізації стійкості схилу на ділянці альпійсь-

кої гірки, де зсувний процес знаходиться у стадії активного розвитку, необхідно виконати інженерно-геологічні вишукування, розрахувати ступінь стійкості схилу у ймовірному діапазоні впливу основних факторів, а також величини зсувного тиску [5, 6, 7], на основі яких виконуються проектні та будівельні роботи щодо зведення утримуючих конструкцій.



Рис. 1. Вигляд ділянки альпійської гірки до і після активізації зсувного процесу

Однією з робочих версій про перезволоження схилу як основної причини активізації зсуву є зміна напрямку потоку ґрунтових вод після будівництва поблизу Ботанічного саду багатопверхового готелю "Хілтон" на пальовому фундаменті глибокого закладання. Саме після будівництва цієї споруди почалися перші незначні зрушення на схилі.

Крім того, необхідно відзначити, що на території Ботанічного саду є й крутіші схили, але зсув відбувається саме на цій ділянці, де спостерігаються найбільші динамічні навантаження від автотранспорту та метрополітену [11, 12].

Інженерно-геологічні та геодезичні вишукування на території Ботанічного саду не виконувалися більше 30 років, що практично унеможливило оцінку ступеня небезпеки та тенденцій розвитку ерозійних та гравітаційних процесів на схилах.

Для оцінки небезпеки подальшого розвитку зсуву фахівцями кафедри гідрогеології та інженерної геології КНУ в травні 2014 р. було виконано бурові роботи (ручне буріння свердловин по центральному перерізу зсувного тіла) і відбір зразків ґрунтів, заміри геометричних параметрів зсувного тіла, лабораторні дослідження ґрунтів, камеральні роботи й розрахунки коефіцієнту стійкості схилу в різних умовах.

Результати цих робіт (з використанням архівних матеріалів) свідчать, що в даному випадку розвивається структурний, консеквентний зсув, з чітко вираженою поверхнею ковзання, численними тріщинами в середній частині зсувного тіла й валом випирання – у нижній частині [8].

Тіло зсуву складене нерозчленованими неоген-четвертинними відкладами (N2-Q1), представленими товщею бурих і червоно-бурих глин та суглинків бурого й зеленувато-сірого кольору [1]. Сповзання відбувається по товщі строкатих глин (N1ps), представлених помаранчово-коричневими глинами з численними вохристо-жовтими й вишнево-червоними плямами та розводами.

При ширині 132 м і довжині 63 м об'єм зсувного тіла перевищує 3000 м³, висота валу випирання в середньому становить 4,2 м, висота стінки відриву в центральному перерізі – 8,4 м (рис. 2).

За результатами лабораторних досліджень зразків ґрунтів, відібраних на ділянці зсуву, було отримано середні значення основних показників властивостей ґрунтів (табл. 1).

Розрахунки стійкості схилу було виконано за методом Маслова-Берера, який найчастіше застосовується в подібних розрахункових схемах [2, 3, 9, 10]. Суть методу Маслова-Берера полягає у визначенні активного тиску в межах i -того блоку як на підпірну стінку з вертикальним ребром та поверхнею ковзання цього блоку, нахиленою до горизонту під кутом α_i .

Особливістю методу є вираження опору зсуву ґрунту не окремо через кут внутрішнього тертя ϕ та зчеплення c , а через коефіцієнт $F_p = tg\phi + \frac{c}{p}$ і кут зсуву

$$\psi_p = \arctg F_p.$$

Коефіцієнт F_p та кут зсуву ψ_p залежать від питомого навантаження p , яке визначається за формулою:

$$p = \gamma_i h_{mt,i}. \quad (1)$$

Основними формулами цього методу є:

$$H = G \cdot tg\alpha;$$

$$E = G \cdot tg(\alpha - \psi_p);$$

$$T = H - E = G [tg\alpha - tg(\alpha - \psi_p)],$$

де: H – тиск на уявну стінку при відсутності у ґрунті тертя та зчеплення; ψ_p – кут опору здвигу; G – вага розрахункового блоку; T – частина загального тиску на уявну стінку, яка сприймається тертям та зчепленням ґрунту; E – залишкова частина тиску (активний тиск).

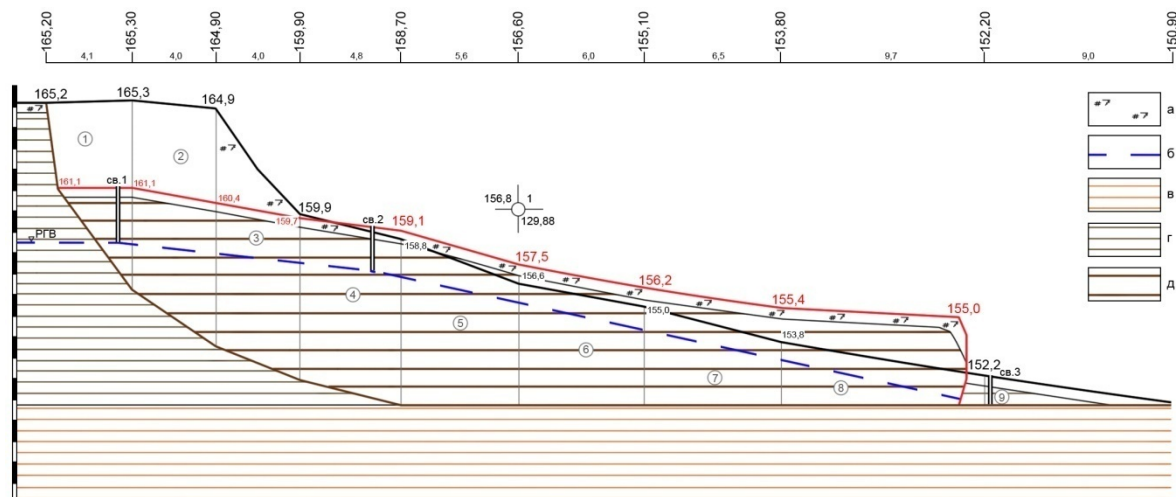


Рис. 2. Геологічний розріз по центральному перерізу зсувного тіла:

а – ґрунтово-рослинний шар, б – дзеркало ґрунтових вод, в – обрис схилу, змінений у результаті зсувного процесу, г – нерозчленовані неоген-четвертинні відклади (N_2-Q_1), д – строкаті глини (N_{1ps})

Таблиця 1

Середні значення основних показників властивостей ґрунтів

Густина ґрунту, ρ , т/м ³	Кут внутрішнього тертя, ϕ , град.	Питоме зчеплення, c , КПа
2,04	10,0	35,0

Залежно від знаку кута α (напрямку поверхні ковзання), тиск може бути додатний або від'ємний.

Для виконання розрахунків необхідні такі дані:

1. Геометричні параметри схилу на ділянці потенційного зсуву:

- кути нахилу поверхні ковзання в межах виділених блоків α_i ;
- ширина блоків a_i ;
- потужність тіла зсуву на верхній h_i та нижній h_{i+1} межах блоків;

2. Показники властивостей ґрунтів: густина ρ_i , питома вага γ_i ; кут внутрішнього тертя ϕ_i ; питоме зчеплення c_i .

3. Дані про коливання рівнів ґрунтових вод у межах виділених блоків.

Алгоритм виконання розрахунків такий:

1. Розраховуємо середню потужність блоків $h_{mt,i}$, об'єми блоків за формулою $V_i = h_{mt,i} \cdot a_i$ та вагу блоків за формулою ...;

2. Розраховуємо тиск на уявну стінку за формулою $H_i = G \cdot \tan \alpha_i$;

3. Розраховуємо питоме навантаження $p_i = \gamma_i \cdot h_{mt,i}$, коефіцієнт $F_p = \tan \phi + \frac{c}{p}$, кут зсуву $\psi_p = \arctan F_p$, активний тиск $E = G \cdot \tan(\alpha - \psi_p)$ і частину загального тиску на уявну стінку, яка сприймається тертям та зчепленням ґрунту $T = H - E = G \left[\tan \alpha - \tan(\alpha - \psi_p) \right]$;

4. Розраховуємо коефіцієнт стійкості за формулою $k = \frac{\sum T_i}{\sum H_i}$.

За результатами розрахунків визначено, що при природній вологості ґрунтів схил знаходиться в стані

рівноваги ($k=1,38$), а при підвищенні вологості – втрачає стійкість ($k=0,84$). Причому, в розрахунках враховувався лише фільтраційний тиск ґрунтових вод, а при врахуванні погіршення показників властивостей ґрунтів при замочуванні – коефіцієнт запасу стійкості схилу буде ще меншим (табл. 2).

Результати проведених досліджень і спостереження у 2015 р. свідчать, що активний стан зсувного процесу зберігається [4, 11], причому є неминучим зсув ґрунту в межах майже вертикальної стінки відриву і з нижнього боку валу випирання.

Висновки. Ботанічний сад імені академіка О.В. Фоміна треба віднести до категорії історичних пам'яток, оскільки він має давню історію й унікальну колекцію рослин різного географічного походження. Це вимагає постійного й регулярного проведення природоохоронних заходів. Однак, на сьогодні моніторингові спостереження за станом схилів на території Ботанічного саду не ведуться, що практично унеможлиблює оцінку ступеня геологічної небезпеки та тенденції розвитку ерозійних та гравітаційних процесів на схилах. Наслідками цього є поступове руйнування цегляної огорожі саду, розвиток і активізація зсувного процесу на ділянці альпійської гірки. Можливі прояви несприятливих гравітаційних процесів і на інших ділянках Ботанічного саду.

Для усунення наслідків зсуву на ділянці альпійської гірки та стабілізації стану схилу необхідним є проведення комплексних інженерно-геологічних та геодезичних вишукувань з метою отримання достовірної інформації про геологічну будову схилу, величину й напрямок потоку ґрунтових вод, характеристики рельєфу, показники властивостей ґрунтів схилу у природному й замоченому стані. Це дозволить комплексно оцінити природні та техногенні фактори зсувної небезпеки та їх вплив на стійкість схилу, а також розрахувати ступінь стійкості схилу та можливі величини зсувного тиску. Отримані результати є основою прогнозування стану схилу, а також вироблення рекомендацій та оптимальних проти-зсувних заходів.

Таблиця 2

Результати розрахунку стійкості схилу за методом Маслова-Берера

Показник	Позначення	№ розрахункового блоку в межах тіла зсуву									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ширина блоків	a	4.1	4.0	4.0	4.8	5.6	6.0	6.5	9.7	9.0	
Середня потужність блоків	h_{mt}	7.7	10.2	9.6	7.5	7.0	5.0	3.6	2.3	1.0	
Об'єми блоків	V	31.57	40.80	38.40	36.00	39.20	30.00	23.40	22.31	9.00	
Вага блоків	G	631.4									
Кути нахилу поверхні ковзання в межах виділених блоків	α	65	36	25	13	0	0	0	0	0	
	$tg\alpha$	2.145	0.7265	0.4663	0.2309	0	0	0	0	0	
Тиск на уявну стінку	H	1354.35	582.36	358.12	166.25	0	0	0	0	0	2461.08
Питоме навантаження	p	154.00	204	192	150	140	100	72	46	20	
	c/p	0.2273	0.1716	0.1823	0.2333	0.25	0.35	0.4846	0.7609	1.75	
Кут внутрішнього тертя		10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	$tg\varphi$	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	0.1763	
	F_p	0.4036	0.3479	0.3586	0.4096	0.4263	0.5263	0.6609	0.9372	1.9263	
Кут опору здвигу	ψ	21.98	13.18	19.73	22.27	23.09	27.76	33.46	43.14	62.56	
	$tg(\alpha - \psi)$	43.02	16.82	5.27	-9.27	-23.09	-27.76	-33.46	-43.14	-62.56	
	$tg(\alpha - \psi)$	0.9331	0.3023	0.0922	-0.1632	-0.4263	-0.5263	-0.6609	-0.9372	-1.9263	
Активний тиск		589.16	242.32	70.71	-117.504	-334.22	-315.78	-309.30	-418.18	-346.73	
Частина загального тиску на уявну стінку, яка сприймається тертям та зчепленням ґрунту	$T = H - E$	765.19	340.04	287.31	283.75	334.22	315.78	309.30	418.18	346.73	3400.5
Коефіцієнт стійкості схилу без врахування впливу ґрунтових вод	$k = \frac{\sum T}{\sum H}$										1.38
Питома вага води	γ_w	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	
Різниця рівнів ґрунтових вод і поверхні ковзання	$H^w - z$	1.1	3.5	4.7	5.5	5.3					
Кут між дотичною до лінії ковзання та горизонталлю	β	65	36	25	13	0	0	0	0	0	
	$\cos \beta$	0.4226	0.8090	0.9063	0.974	1	1	1	1	1	
Величина гідродинамічного тиску	$D_i = \gamma_w(H^w - z_i) \times \frac{a_i}{\cos \beta_i}$	104.69	169.77	203.50	265.90	291.16	235.44	178.54	123.70	17.66	1590.36
Коефіцієнт стійкості схилу з врахуванням впливу ґрунтових вод	$k = \frac{\sum T}{\sum H + \sum D_i}$										0.84

Список використаних джерел

- Барщевский Н. Е. Геоморфология и рельефообразующие отложения района г. Киева / Н. Е. Барщевский. – К.: Наукова думка, 1989. – 195 с.
- Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – С.-П.: Лань, 2012. – 415 с.
- Дашко Р. Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике / Р. Э. Дашко, А. А. Каган. – М.: Недра, 1977. – 235 с.
- ДБН В.1.1-3-97. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення [Текст]. – Розроблені НДІБК Держкомістобудування України. – Київ: Держбуд України, 1998. – 47 с.
- Костюченко М. М. Особливості інженерно-геологічних умов території міста Києва / М. М. Костюченко // Ми і Президент: Міжнародний суспільно-політичний журнал. – К., 2008. – № 1. – С. 25-30.
- Костюченко М. М. Проблеми техногенних змін геологічного середовища території міста Києва / М. М. Костюченко // Вісник Київського університету. Геологія. – 2008. – Вип. 44. – С. 43-48.
- Костюченко М. М. Проблеми інженерно-геологічних досліджень на майданчиках реконструкції цивільних споруд / М. М. Костюченко // Вісник Київського університету. Геологія. – 2007. – Вип. 41. – С. 30-32.
- Костюченко М. М. Гідрогеологія та інженерна геологія: Підручник / М. М. Костюченко, В. С. Шабатин. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2005. – 159 с.
- Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н. Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1982. – 510 с.
- Цытович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М.: Высшая школа, 2009. – 287 с.
- Tokita Y. On the characteristics of ground vibration generated by the traffic / Y. Tokita, A. Oda // Inter-Noise-75: Proc. Int. Conf. Noise Contr. Eng. – Sendai, 1975. – P. 511-514.

- Voznesensky E. A. Dynamic instability of soils and rocks / E. A. Voznesensky, A. A. Balkema // 7th International IAEG Congress: Proceedings. – Lisboa: Rotterdam: Brookfield, 1994. – P. 683-692.

References

- Barashevskyy, N.E. (1989). *Geomorfologiya i reliefoobrazuyushchie otlozheniya rayona g. Kievа*. Kyiv: Naukova dumka, 195 p. [in Russian].
- Dal'matov, B.I. (2012). *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fyndamentu*. S.-P.: Lan. [in Russian].
- Dashko, R.E., Kagan, A.A. (1977). *Mekhanika gryntov v ingzhenerno-geologicheskoy praktike*. Moscow: Nedra, 235 p. [in Russian].
- Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Inzhenernyi zakhyst terytorii, budynkiv i sporud vid zsvuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennia [Protection from dangerous geological processes. Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and mudslides]. (1998). DBN V.1.1-3-97. Kyiv: Derzhbud Ukrainy. [in Ukrainian].
- Kostyuchenko, M.M. (2008a). Features of engineering and geological conditions of the territory of Kyiv. *International socio-political magazine "We and the President"*, 1, 25-30. [in Ukrainian].
- Kostyuchenko, M.M. (2008b). Problems technogenic changes in the geological environment of the city of Kyiv. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 44, 43-48. [in Ukrainian].
- Kostyuchenko, M.M. (2007). Problems engineering geological investigations at the sites of reconstruction of civil structures. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 41, 30-32. [in Ukrainian].
- Kostyuchenko, M.M., Shabatin, V.S. (2005). *Hydrogeology and Engineering Geology*. Textbook. Kyiv: Publishing Printing Center of Kyiv University, 159 p. [in Ukrainian].
- Maslov, N.N. (1982). *Osnovu inzhenernoi geologii i mekhaniki gruntov*. Moscow: Vusshaya schola, 510 p. [in Russian].

10. Tsutovich, N.A. (2009). *Mekhanika gryntov*. Moscow: Vusshaya schola, 287 p. [in Russian].

11. Tokita, Y., Oda, A. (1975). On the characteristics of ground vibration generated by the traffic. *Proc. Int. Conf. Noise Contr. Eng. of the Inter-Noise-75*. (pp. 511-514). Sendai.

12. Voznesensky, E.A., Balkema, A.A. (1994). Dynamic instability of soils and rocks. *Proceedings of the 7th International IAEG Congress*. (pp. 683-692). Lisboa, Rotterdam: Brookfield.

Надійшла до редколегії 23.10.15

N. Kostyuchenko, Cand Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: kostyuchenko@gmail.com

O. Mokienko, First Category Engineer

E-mail: sandr2012@yandex.ru,

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

LANDSLIDE RISK ASSESSMENT IN O.V. FOMIN BOTANICAL GARDEN

Landslides on the right-bank of Kyiv has always caused serious problems. There are some natural and artificial conditions and causes which facilitate the development of the landslides on this territory.

Due to the increased anthropogenic influence and climatic changes this problem has become urgent at the present time. In April 2013 the sharp warming and intensive melting of snow in the Kyiv resulted was in the formation of more than a hundred new landslide areas, including those formed within the territory of the botanical garden named after O. Fomin.

In order to assess possible danger of further landslide development a detailed observations as well as handy well drilling have been carried out during May 2014 such within the central section of the landslide body. Researches are made by scientific workers of Taras Shevchenko National University of Kiev. The results obtained results have shown that the a structural consequent landslide with distinctly manifested sliding surface is developed within landslide. A. Numerous cracks are found in the middle part of the landslide body and the shaft bulging is formed.

The coefficients of slope stability under various conditions are obtained. The results of current research and further observations have revealed that the landslide process remains active.

Keywords: landslide, technogenic impact, climate change, monitoring of geological environment.

Н. Костюченко, доц., канд. геол.-минералог. наук

E-mail: kostyuchenkon@gmail.com

А. Мокиенко, инж. I кат.

E-mail: sandr2012@yandex.ru

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.В. ФОМИНА

Оползневые процессы на правобережной части территории г. Киева всегда вызывали серьезные последствия. Образованию и развитию этих процессов способствуют существующие природные и техногенные факторы, соотношения которых изменяются во времени. Еще большую актуальность приобрела данная проблема в последние годы в связи с увеличением техногенного воздействия в условиях городской агломерации, а также климатических изменений. В апреле 2013 г. в результате резкого и интенсивного потепления и снеготаяния на территории г. Киева образовалось более сотни новых оползневых участков, в том числе и на территории Ботанического сада имени академика А.В. Фомина.

Для оценки опасности развития оползня сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии УНИ "Институт геологии" в мае 2014 г. было выполнено детальное обследование и ручное бурение скважин по центральному сечению оползневого тела. Результаты этих работ (с использованием архивных материалов) свидетельствуют, что в рамках участка сдвига развивается структурный консеквентный оползень, с четко выраженной поверхностью скольжения, многочисленными трещинами в средней части оползневого тела и валом выпирания.

Выполнены расчеты коэффициента устойчивости склона в различных условиях. Результаты проведенных исследований и дальнейшие наблюдения свидетельствуют, что активное состояние оползневого процесса сохраняется.

Ключевые слова: оползень, техногенное воздействие, климатические изменения, мониторинг геологической среды.

Наукове видання



ВІСНИК КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 4(71)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 9,0. Наклад 300. Зам. № 215-7591.
Вид. № Гл4. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.
Підписано до друку 29.12.15

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@univ.kiev.ua
[http: vpc.univ.kiev.ua](http://vpc.univ.kiev.ua)
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02