

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; 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. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; 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" 24 червня 2016 року (протокол № 16)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1-05/6 від 12.06.02
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by O. Kozionova

EXECUTIVE EDITOR**V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.****EDITORIAL BOARD****Ukrainian members:**

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
June 24, 2016 (Minutes # 16)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Ляшова М.

Мікрофаціальні різновиди та палеонтологічна характеристика візейських карбонатних порід південної прибортової зони ДДЗ6

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Андрєєва О., Шунько В., Гречановська О.

Порівняльний аналіз мінерального складу бентонітових глин Черкаського бентонітоносного району13

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Рева М., Онищук І.

Технологія лабораторних досліджень часових змін петроелектричних параметрів гірських порід20

Безродна І., Безродний Д., Голяка Р.

Математичне моделювання впливу мінерального складу та пористості на параметри пружної анізотропії складно побудованих теригенних порід Волино-Поділля.....27

Меньшов О., Кудеравець Р., Попов С., Хоменко Р., Сухорада А., Чоботок І.

Термомагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів33

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Михайлов В.

Пошуки та оцінка нетрадиційних родовищ вуглеводнів в Україні.....38

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Щербак О., Кошлякова Т., Долін В., Руденко І., Куцка Я.

Оцінка ефективності радіогідрогеологічного моніторингу в зоні впливу Київського сховища радіоактивних відходів46

Тютюнник Ю., Шабатура О.

Індустріоземи та їх використання в археологічному ґрунтознавстві53

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Вижва З., Федоренко К., Вижва А.

Про покращений алгоритм статистичного моделювання сейсмічного шуму в плоскій області спостереження для визначення частотних характеристик геологічного середовища58

Дзюба О., Нікітченко К., Зеленко Ю.

Виявлення слабких аномалій геофізичних полів на основі методів статистичної фільтрації65

ВИДАТНІ ОСОБИСТОСТІ

Грищук П., Вакуленко О., Козіонова О.

Ростислав Сергійович Фурдуй – ентузіаст геологічної справи71

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Liashchova M.

- Microfacies types and paleontological characteristics of the visean carbonate rocks
(the southern zone of Dnieper-Donets basin)6

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Andreeva O., Shunko V., Grechanovska O.

- Comparative analysis of the mineral composition of bentonite from Cherkassy bentonitic area13

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Reva M., Onyshchuk I.

- Technology of laboratory investigations of temporary changes pyroelectric parameters of rocks20

Bezrodna I., Bezrodnyi D., Holiaka R.

- Mathematical modelling of influence of the mineral composition and porosity on elastic anisotropic parameters
of complex sedimentary rocks of Volyn-Podolia area27

Menshov O., Kuderavets R., Popov S., Homenko R., Sukhorada A., Chobotok I.

- Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields33

MINERAL RESOURCES

Mykhailov V.

- Prospection and estimation of unconventional hydrocarbon deposits in Ukraine38

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Scherbak O., Koshliakova T., Dolin V., Rudenko I., Kutska Ya.

- Estimation of effectiveness of radiohydrogeological monitoring in the influence zone
of Kyiv radioactive waste storage46

Tyutyunnik Yu., Shabatura O.

- Industriozems and their use in soil and archaeological research53

GEOLOGICAL INFORMATICS

Vyzhva Z., Fedorenko K., Vyzhva A.

- About advanced algorithm of statistical simulation of seismic noise in the flat observation area
for determination the frequency characteristics of geological environment58

Dziuba O., Nikitchenko K., Zelenko Y.

- Detection of weak anomalies of geophysical fields based on the methods of statistical filtering65

OUTSTANDING PERSONS

Gryshchuk P., Vakulenko O., Kozionova O.

- Rostyslav Sergiyovych Furdyy – enthusiast of geological work71

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Ляцова М.

Микрофациальные разновидности и палеонтологическая характеристика визейских карбонатных пород южной прибортовой зоны ДДЗ6

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Андреева Е., Шунько В., Гречановская Е.

Сравнительный анализ минерального состава бентонитовых глин Черкасского бентонитоносного района.....13

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук В., Рева Н., Онищук И.

Технология лабораторных исследований временных изменений петроэлектрических параметров горных пород.....20

Безродная И., Безродный Д., Голяка Р.

Математическое моделирование влияния минерального состава и пористости на параметры упругой анизотропии сложнопостроенных теригенных пород Вольно-Подолья.....27

Меньшов А., Кудеравец Р., Попов С., Хоменко Р., Сухорада А., Чоботок И.

Термомагнитный анализ почв территорий залежей углеводородов.....33

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Михайлов В.

Поиски и оценка нетрадиционных месторождений углеводородов в Украине38

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Щербак О., Кошлякова Т., Долин В., Руденко И., Куцка Я.

Оценка эффективности радиогидрогеологического мониторинга в зоне влияния Киевского хранилища радиоактивных отходов.....46

Тютюнник Ю., Шабатура А.

Индустриоземы и их использование в археологическом почвоведении53

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Выжва З., Федоренко К., Выжва А.

Об улучшенном алгоритме статистического моделирования сейсмического шума в плоской области наблюдения для определения частотных характеристик геологической среды.....58

Дзюба О., Нікітченко К., Зеленко Ю.

Выделение слабых аномалий геофизических полей на основе методов статистической фильтрации65

ВЫДАЮЩИЕСЯ ЛИЧНОСТИ

Грищук П., Вакуленко О., Козионова О.

Ростислав сергеевич Фурдуй – энтузиаст геологического дела71

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 552.541:551.735.1(477.5)

М. Ляцова, асп.
E-mail: mariialiaschova@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

МІКРОФАЦІАЛЬНІ РІЗНОВИДИ ТА ПАЛЕОНТОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІЗЕЙСЬКИХ КАРБОНАТНИХ ПОРІД ПІВДЕННОЇ ПРИБОРТОВОЇ ЗОНИ ДДЗ

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

Досліджено форамініфери та мікрофації візейських карбонатних порід південної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини. Мікроскопічне вивчення карбонатних порід дозволило встановити їх мінеральний склад, текстурні і структурні особливості, ступінь та характер вторинних змін, описати основні мікрофації. Візейські карбонатні породи представлені такими мікрофаціальними типами: біокластичні, форамініферові, форамініферо-водоростеві, водоростеві, мікробіальні (пелоїдні), агрегаційно-грудкуваті (грейпстоуни) грейпстоуни; біокластичні, форамініферові, водоростеві, форамініферо-водоростеві, кріноїдні пакстоуни та вакстоуни. Вивчення фауністичних решток та альгофлори в комплексі з мікрофаціальними дослідженнями дало змогу наблизитись до реконструкції умов карбонатної седиментації. Мікрофації та склад біоти вказують на чотири фаціальні зони (ФЗ), що формувались в умовах карбонатних платформ: ФЗ 2 глибокого шельфу, ФЗ 6 окраїн платформ, ФЗ 7 відкритого моря та ФЗ 8 обмеженого водообміну на карбонатних платформах. Стандартні мікрофації (СМФ) включають: СМФ 8-9 (біокластичний вакстоун), СМФ 10 (біокластичний пакстоун), СМФ 16 (мікробіальний (пелоїдний) грейпстоун), СМФ 17 (агрегаційно-грудкуватий грейпстоун (грейпстоун), СМФ 18 (біокластичний грейпстоун та пакстоун з різноманітними форамініферами та зеленими водоростями). Це свідчить про те, що досліджені породи утворювались в умовах карбонатної платформи та її схилів. Локально виникали застійні ділянки з обмеженою циркуляцією водних мас.

Ключові слова: мікрофації, форамініфери, карбонатонакопичення, візейський ярус, південна прибортова зона Дніпровсько-Донецької западини.

Вступ. Візейські відклади поширені в східній частині України у межах Донецького басейну та Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), які у ранньому карбоні входили до складу одного басейну седиментації – Доно-Дніпровського прогину. В розрізі Донбасу візейські відклади складені переважно органогенними карбонатними товщами верхньої частини микроволноваскої серії. Лише у середній частині візе з'являються кременисто-карбонатні утворення (стильська світа), а у верхах – суттєво карбонатна товща донецької світи змінюється перешаруванням аргілітів, алеволітів, пісковиків та вапняків межівської світи [9, 10]. У ДДЗ, як і в Донецькому басейні, значна частина візейських відкладів складена карбонатними породами, що утворюють верхню частину "карбонатної плити" (яблунівська світа) з глинисто-кременистими рудівськими верствами у покрівлі (рис. 1). Вище розміщується потужна глиниста товща солохівської світи (XII^a мікрофауністичний горизонт (МФГ), аналогії якої в донецьких розрізах достовірно не встановлені. Ще вище залягають піщано-глинисті утворення андріяшівської, перекопівської та василівської світи. На відміну від Донбасу, карбонатні породи у верхньому візе ДДЗ поширені лише локально [10]. Таким чином, карбонатутворення у візейському віці на території Доно-Дніпровського прогину відбувалось несинхронно та не повсюди. У ранньому візе карбонатна седиментація охоплювала значні території прогину, у пізньовізейський час необхідні для цього умови виникали лише епізодично і тільки на локальних ділянках.

Виходячи з важливості виявлення закономірностей поширення карбонатних тіл, особливо важливих для нафтогазової геології, нами вивчались літолого-фаціальні особливості візейських карбонатних порід та умови їх седиментації у межах південної прибортової зони ДДЗ. Більшість карбонатних порід тут сконцентрована у нижній частині ярусу, де вони формують нижньовізейський карбонатний комплекс ("плиту"). Верхньовізейський під'ярус складений переважно теригенними і глинистими породами, де карбонатні породи мають підпорядковане значення та вивчені недостатньо.

Загалом, нижньовізейські відклади разом з верхньотурнейськими у межах південної прибортової зони ДДЗ

утворюють потужну нерозчленовану карбонатну товщу різної товщини, яка зростає в напрямку осьової зони западини від 25 м (Горобцівська св. 7) до 160 м і більше (Руденківська св. 27) [6]. Візейська частина цієї товщі ділиться на два під'яруси, хоча межа між ними доволі неоднозначна. За біостратиграфічним поділом до нижнього візе належать відклади XIV-XIII^a МФГ, до верхнього – відклади XIII^a-X МФГ (рис. 1). Водночас, за уявленнями деяких дослідників, візейські відклади представлені трьома осадовими комплексами (регіональними підрозділами), розділеними поверхнями регіональних стратиграфічних незгідностей [3]. На сьогодні, дискусійною залишаються і кореляція ряду МФГ візейського ярусу ДДЗ з детально вивченими розрізами Донбасу, де розміщуються стратотипи регіолярів Доно-Дніпровського прогину [9].

Вивчення біостратиграфії та літології візейських карбонатних порід ДДЗ має тривалу історію. Біостратиграфічне розчленування на МФГ базується на вивченні форамініфер [3, 5, 10]. У комплексі з літостратиграфічними дослідженнями, включаючи геофізичні дані та результати вивчення карбонатних порід у шліфах, мікрофауністичні дослідження дозволили окреслити основні риси карбонатутворення у візейському віці на території ДДЗ [4]. Реконструкції карбонатної седиментації виконувались із залученням форамініфер та водоростей – типових органічних решток, що найчастіше трапляються у керні свердловин, та є надійними індикаторами умов осадоутворення [2, 6]. Сучасний рівень пошукових робіт на нафту і газ у межах ДДЗ поступово переорієнтовується на виявлення локальних літологічних тіл. У межах південної прибортової зони до таких належать, насамперед, карбонатні об'єкти. Проте їх прогнозування є дуже складною задачею. Ефективним інструментом, що може сприяти її вирішенню, є мікрофаціальний аналіз. Як показано на фундаментальними роботами зарубіжних дослідників, де узагальнено величезні обсяги досліджень різновікових карбонатних систем, мікрофації несуть неоціненне джерело інформації щодо умов седиментації у давніх басейнах. Вони дозволяють виявити закономірності поширення карбонатних колекторів та зміни їх колекторських властивостей [11, 17].

Ярус	Під'ярус	МФГ	Світа	Продуктивний горизонт
Візейський	Верхній	X	Василівська	B-14
		XI	Перекопівська	B-15
		XII	Андрияшівська	B-16
		XII ^a	Солохівська	B-17
		XII ^a	Солохівська	B-20
	Нижній	XIII	Рудівські верстви	B-21
		XIII	Рудівські верстви	B-22
		XIII	Рудівські верстви	B-23
		XIII	Рудівські верстви	B-24
		XIII	Рудівські верстви	B-25
		XIII	Рудівські верстви	B-26

Рис. 1. Узагальнена стратиграфічна схема візейського ярусу ДДЗ [10]

Метою роботи є мікрофаціальний аналіз візейських карбонатних порід південної прибортової частини ДДЗ, впровадження на його основі розроблених зарубіжними дослідниками стандартних моделей карбонатнакопичення. Застосування таких моделей дає можливість більш однозначно трактувати умови карбонатної седиментації, визначенню змін, що відбувались на різних ділянках басейну протягом візейського віку. При цьому вік вивчених порід, віднесення їх до певного МФГ, визначався за форамініферами.

Фактичний матеріал та методика досліджень.

Проведені мікроскопічні дослідження включали вивчення понад 400 шліфів із керну свердловин по площах: Багатойська (св. 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9), Гавришівська (св. 21), Горобцівська (св. 3, 10), Зачепилівська (св. 3, 7, 10, 11, 16, 18, 19, 23, 30), Котівська (св. 1), Ливенська (св. 1, 3, 6, 7), Личківська (св. 22, 23, 24, 30, 32), Михайлівська (св. 1, 2), Перещепинська (св. 43, 44, 46, 47, 48, 49, 60), Пролетарська (св. 4, 15, 41), Решетняківська (св. 4), Юр'ївська (св. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 17). Всі свердловини розміщені у межах площ, що розташовані у південній прибортовій зоні ДДЗ (рис. 2).

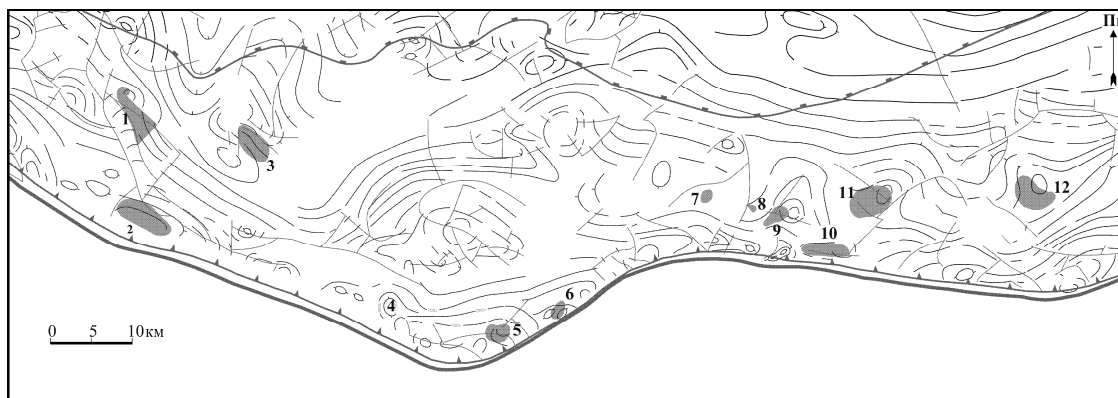


Рис. 2. Схема розташування досліджених площ:

1 – Горобцівська; 2 – Зачепилівська; 3 – Решетняківська; 4 – Ливенська; 5 – Михайлівська; 6 – Юр'ївська; 7 – Котівська; 8 – Гавришівська; 9 – Личківська; 10 – Пролетарська; 11 – Перещепинська; 12 – Багатойська

Дослідження включали елементи мікрофаунистичного та мікрофаціального аналізів. Визначення мікрофауни (головним чином форамініфер) проводилось з метою уточнення віку порід, віднесення їх до певного МФГ (XI, XII, XII^a, XIII та XIV). Для цього додатково залучались також дані стратиграфічного розчленування розрізів за результатами геофізичного дослідження свердловин.

Літологія карбонатних порід вивчались із виділенням стандартних типів мікрофацій (СМФ 1 – 24), запропонованих Дж.Л. Уілсоном [11] і Е. Флюгелем [17], та з використанням класифікацій Р. Фолка [18] і Р. Данхема [15]. Для встановлення типів мікрофацій вивчались генетичні ознаки карбонатних порід (матрикс, уламковий матеріал, склад органічних решток, структурні та текстурні особливості). Ідентифікація обстановок карбонатної седиментації проводилась на основі методик, розроблених Дж. Л. Уілсоном і Е. Флюгелем та даних інших дослідників [8, 12, 13].

Результати досліджень.

Мікрофауна. За результатами палеонтологічних досліджень було виділено комплекси форамініфер, за якими візейські карбонатні відклади південної прибортової зони ДДЗ поділяють на мікрофаунистичні горизонти [3, 5, 10].

Характерними представниками карбонатних порід XIV МФГ є: *Dainella chomatica* Dain, *D. elegantula* Brazhnikova, *Eoglobobioendothyra orelica* Vdovenko, *Globoendothyra parva* var. *ukrainica* Vdovenko, *Endothyranopsis staffelliformis* N.

Tchernysheva, *Planoendothyra rotai* Dain, *Pseudolituotubella* sp., *Mediocris mediocris* Vissarionova, *Eoparastaffella simplex* Vdovenko, *Pseudolituotubella* sp., визначені у свердловинах Багатойської (св. 1, 3, 6, 8), Гавришівської (св. 21), Михайлівської (св. 1), Личківської (св. 30, 32), Перещепинської (св. 43, 48, 49), Солонцівської (св. 5) та Юр'ївської (св. 2, 3, 7) площ.

Загалом, в нижньому візі вперше з'являються представники родів *Endothyranopsis*, *Pseudolituotubella*, *Loeblichia*, *Globoendothyra*, *Mediocris*, *Eoparastaffella*, *Palaeotextularia*, *Dainella*, *Tetrataxis*, різноманітні *Endothyra*.

До форамініферового комплексу XIII МФГ входять: *Earlandia vulgaris* var. *orientalis* Rauser, *Archaediscus krestovnikovi* Rauser, *Tetrataxis media* Vissarionova, *T. gigas* Brazhnikova, *Valvulinella jounji* Brady, *Permodiscus rotundus* N. Tchernysheva (Багатойська площа, св. 2; Гавришівська площа, св. 21; Личківська площа, св. 23, 24; Михайлівська площа, св. 1, 2; Перещепинська площа, св. 49; Юр'ївська площа, св. 3, 4, 6, 17).

Порівняно з попередньою, у карбонатній товщі XIII МФГ відбувається значне оновлення фауни форамініфер. Вперше з'являються представники родів *Archaediscus*, *Permodiscus*, *Planoarchaediscus*, *Propermodiscus*, *Valvulinella*. Зникаючими є представники родів *Tournayella*, *Brunsiina*. Оновлюються за видовим складом ендотіри та представники інших родів.

Типово верхньовізейські комплекси форамініфер виявлено у XIIa, XII та XI МФГ. Форамініфери XIIa МФГ

включають види *Litoutubella glomospiroides* Rauser, *Globoendothyra globula* Eichwald, *Gl. orelica* Vdovenko, *Endothyranopsis compressa* Rauser et Reitlinger, *Howchinia exilis* Vissarionova, *Archaeodiscus convexus* Grozdilova et Lebedeva, *Arch. ex gr. moelleri* Rauser, *Arch. ovoideus* Rauser, *Endostaffella ex gr. parva* Moelleri, *Tetrataxis* sp., *Mediocris* sp. (Юр'ївська площа, св. 3, 4, 5; Перещепинська площа, св. 49, Личківська площа, св. 23, 30).

Комплекс XII МФГ складають форамініфери *Archaeodiscus moelleri* var. *gigas* Rauser, *Eostaffella proikensis* Rauser, *E. parastruvei* Rauser, *Endothyranopsis crassa* Brady, *Loeblichia ukrainica* Brazhnikova, *L. ammonoides paraammonoides* Brazhnikova, *Palaeotextularia* sp., *Pseudoendothyra sublimis* Schlykova, *Pseudoendothyra* sp. (Котівська площа, св. 1; Личківська площа, св. 23; Михайлівська площа, св. 2; Перещепинська площа, св. 49; Юр'ївська площа, св. 4, 5, 7).

Форамініфери *Archaeodiscus moelleri* var. *gigas* Rauser, *Asteroarchaeodiscus* sp., *Eostaffella* sp., *Loeblichia ukrainica* Brazhnikova, *L. ammonoides paraammonoides* Brazhnikova, *Pseudoendothyra sublimis* Schlykova, *Pseudoendothyra* sp. є типовими для XI МФГ (Котівська площа, св. 1; Михайлівська площа, св. 1, 2; Перещепинська площа, св. 43, 48; Юр'ївська площа, св. 3).

Мікрофації. У результаті детальних досліджень з використанням мікрофаціального аналізу візейських карбонатних порід південної прибортової зони ДДЗ було виділено такі мікрофаціальні різновиди вапняків: 1) грейнстоуни (біокластичні, форамініферові, форамініфероводоростеві, водоростеві, мікробіальні (пелоїдальні), агрегаційно-грудкуваті (грейпстоун); 2) пакстоуни (біокластичні, форамініферові, водоростеві, форамініфероводоростеві, кріноїдні); 3) вакстоуни (біокластичні).

1. **Грейнстоуни** – породи, цемент яких переважно спаритовий (від тонко- до крупнозернистого), присутність мікриту становить не більше 15% [15]. В грейнстоуни біокласти представлені уламками стулок брахіопод, члениками кріноїдей, раковинами остракод, а також вапнистими водоростями та форамініферами.

Серед грейнстоунів виділено такі підтипи:

- **біокластичний грейнстоун** (рис. 3а) – породи з органогенно-уламковою (від дрібно- до грубозернистої) та спаритовою (від тонко- до середньозернистої) структурою, характеризуються наявністю численних решток мікрофауни, а саме: кріноїдей, остракод, брахіопод, ехіноїдей, гастропод. Інколи трапляються уламки мікрозернистого вапняка. Зазначені уламки зцементовані яснокристалічним (від тонко- до крупнозернистого) кальцитом.

- **форамініферовий грейнстоун** (рис. 3б) – породи перекристалізовані зі спаритовим цементом базального типу (40% від загальної площі шліфа), місцями з первинним мікритовим цементом (5% від площі шліфа). Спаритовий кальцит заповнює комірки біокластів, а також утворює дрібно-, середньозернистий матрикс з крупними зернами кальциту (розмір зерен від 0,02 до 0,05 мм). Біокласти представлені рештками брахіопод, водоростей, кріноїдей, остракод, форамініфер. Раковини останніх складені мікритовим кальцитом (близько 40%); розміри біокластів становлять 0,2–0,7 мм, рідко – до 1 мм.

- **водоростевий грейнстоун** (рис. 3в) – породи доломітизовані з неоднорідною плямистою структурою від мікритової до спаритової. Породи складається із решток водоростей округлої та грудкоподібної форми (розмір від 0,06 мм до 0,2 мм), що складені мікритовим та рідко тонкокристалічним кальцитом. Крім водоростей, трапляються поодинокі уламки кріноїдей, брахіопод, остракод, форамініфер, що складені мікритовим кальцитом. Розміри біокластів варіюють в межах 0,2–0,5 мм.

Біокластичний матеріал зцементований спаритовим карбонатним цементом, у якому наявні розсіяні кристали кальциту та доломіту розміром від 0,05 мм до 0,2 мм. Мікритовий кальцит має буруватий відтінок, можливо за рахунок домішки глинистих мінералів.

- **форамініферово-водоростевий грейнстоун** (рис. 3г) – породи перекристалізовані зі спаритовим цементом базального типу (45% від загальної площі шліфа), місцями з первинним мікритовим цементом. Спаритовий матрикс дрібно-, середньозернистий подекуди з крупними зернами кальциту (розмір зерен до 0,05 мм). Переважну частину біокластів складають рештки зелених водоростей та форамініфер. Також трапляються рештки кріноїдей, брахіопод, водоростей, остракод. Стінки раковин форамініфер складені мікритовим кальцитом. Розміри біокластів варіюють в межах 0,2–0,8 мм, рідко – до 1 мм та більше.

- **мікробіальний (пелоїдний) грейнстоун** (рис. 3д) – мікротекстура порід невпорядкована, неоднорідна, грудкувата. Грудкуватість проявляється в присутності в породі згустків мікритового кальциту різного розміру та форми (пелоїдів), які, можливо, мають мікробіальне походження. Мікроструктура порід від мікритової до тонкокристалічної. Також в загальній карбонатній масі спостерігаються поодинокі рештки сфероводоростей (0,1–0,4 мм), що мають радіально-променеву та концентрично-зональну внутрішню будову, перекристалізовані рештки кріноїдей та остракод, а також реліктові структури біоморфного походження, що складені мікритовим карбонатом на фоні тонко-дрібнокристалічного кальциту.

- **агрегаційно-комкуватий грейнстоун (грейпстоун)** (рис. 3е) – дрібно- і середньозернисті породи з органогенними уламками різної форми та розмірів, та, відповідно, різного походження (інтракласти за [18]), представлені біокластичним пеллетовим вакстоуном.

2. **Пакстоуни** – складені біокластами (до 60%), зануреними в мікрит, який складає переважну частину матриксу [15]. Біокласти представлені слабоорієнтованими уламками стулок остракод, брахіопод та сітчастих моховаток, члениками кріноїдей. Детальний аналіз вивчених мікрофацій дозволяє виділити такі підтипи:

- **біокластичний пакстоун** (рис. 3є) – дрібно- і середньозернисті породи, місцями перекристалізовані. Породоутворюючі мінерали представлені спаритовим кальцитом та окремими кристалами (близько 65% від загальної площі шліфа, розмір зерен від 0,02 до 0,06 мм, рідко 0,1 мм). Біокласти представлені реліктами кріноїдей, брахіопод, остракод, водоростями та форамініферами. Раковини форамініфер складені мікрозернистим кальцитом, розміри біокластів 0,2–0,5 мм, в деяких випадках сягають 1 мм. Також присутні аутигенні мінерали (поодинокі піритові стягіння неправильної форми).

- **форамініферовий пакстоун** (рис. 3ж) – матрикс представлений спаритовим цементом (55% від загальної площі шліфа); мікритова складова – до 25%. Подекуди спостерігаються піритизовані різновиди. Серед органічних залишків трапляються рештки брахіопод, остракод. Раковини форамініфер складені мікритовим кальцитом (близько 80%); розміри біокластів складають 0,1–0,7 мм.

- **форамініферово-водоростевий пакстоун** (рис. 3з) – породи мікро-, тонкозернисті, перекристалізовані. Матрикс представлений переважно мікритовим кальцитом. Серед біокластів трапляються моховатки, брахіоподи, кріноїдеї, остракоди, скупчення водоростей *Girvanella* та багатий комплекс форамініфер. Розміри біокластів становлять 0,2–0,65 мм.

- **водоростевий пакстоун** (рис. 3і) – вапняк з мікритовим кальцитом, місцями глинистий, ділянками перекристалізований та піритизований, з товсто стінними

стулками остракод, уламками та голками брахіопод, з частими форамініферами. Розміри біокластів варіюють від 0,05 до 1 мм.

- *кріноїдний пакстоун* (рис. 3к) – вапняк тонко-, дрібнозернистий, з мікритовим цементом. Спаритовий кальцит заповнює комірки (осередки) біокластів, а також утворює дрібно-, середньозернистий матрикс з крупними зернами кальциту (розмір зерен від 0,02 до 0,05 мм). Біокласти представлені рештками брахіопод, водоростей, кріноїдів, остракод, раковинами форамініфер. Уламки складені мікритовим кальцитом (близько 40%, розміри біокластів складають 0,2-0,7 мм, рідко – до 1 мм та більше).

3. *Вакстоуни*. Породи з мікритовим матриксом. Біокласти, подібно до інших мікрофацій, представлені кріноїдами, брахіоподами, голкошкірими та остракодами.

Серед вакстоунів виділено такий підтип:

- *біокластичний вакстоун* (рис. 3л) – місцями перекристалізовані породи. Переважно складені мікритом, спаритовий цемент подекуди присутній у невеликих кількостях (до 5% від площі шліфа). Серед біокластів присутні релікти кріноїдів, брахіопод, остракод, водоростей та форамініфер. Раковини форамініфер складені мікротонкозернистим кальцитом. Розміри біокластів до 0,4 мм, в деяких випадках сягають 0,7 мм.

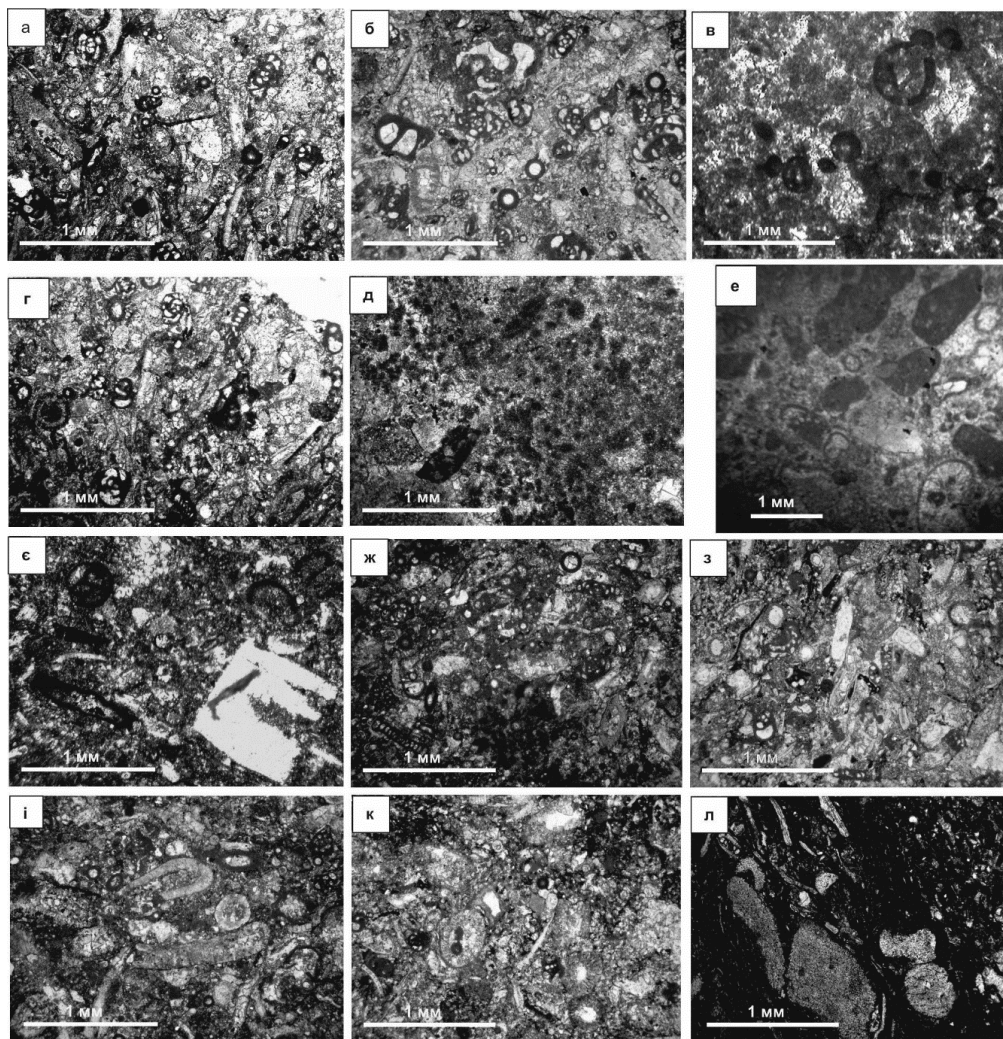


Рис. 3. Мікрофаціальні типи вапняків:

а – біокластичний грейнстоун (Перещепинська площа, св. 23, гл. 3107-3109 м, XI МФГ), б – форамініферовий грейнстоун (Юр'ївська площа, св. 4, гл. 1683-1688, XII^а МФГ), в – водоростевий грейнстоун (Ливенська площа, св. 7, гл. 1635, XIII МФГ), г – форамініферово-водоростевий грейнстоун (Багатойська площа, св. 8, гл. 4009-4029 м, XIV МФГ), д – мікробіальний грейнстоун (пелоїдальний) (Багатойська площа, св. 2, гл. 4257-4262), е – агрегаційно-комкуватий грейнстоун (грейпстоун) (Солонцівська площа, св. 5, 2653-2689 м, XIII МФГ), є – біокластичний пакстоун (Котівська площа, св. 1, гл. 3220-3226 м, XI МФГ), ж – форамініферовий пакстоун (Михайлівська св. 1р, гл. 1275 м, XIV МФГ), з – форамініферово-водоростевий пакстоун (Перещепинська площа, св. 46, гл. 3710-3713 м, XIII МФГ), і – водоростевий пакстоун (Юр'ївська площа, св. 2, гл. 1668-1680 м, XIV МФГ), к – кріноїдний пакстоун (Багатойська площа, св. 6, гл. 4464-4472 м, XIII МФГ), л – біокластичний вакстоун (Багатойська площа, св. 2, гл. 4268-4284 м, XII МФГ)

Поширення мікрофацій у розрізі. У розрізі візе підведеної прибортової зони ДДЗ описані мікрофації поширені нерівномірно. Для карбонатних порід різних МФГ характерні особливі поєднання мікрофацій, що обумовлено зміною умов карбонатної седиментації.

1) *XIV МФГ* характеризується домінуванням *біокластичних пакстоунів* (мікротонкозернисті, глинисті, частково або майже повністю перекристалізовані, подекуди з

включеннями піриту; серед органічних трапляються рештки водоростей, стулок остракод, рідше кріноїдів та форамініфер) по всьому горизонту та *пакстоунів водоростевих* (тонкозернисті, глинисті, перекристалізовані, інколи піритизовані, із рештками товстостінних стулок остракод, уламків та голок брахіопод, з частими форамініферами) у верхах;

2) низи XIII МФГ горизонту представлені *грейнстоунами форамініферовими* (дрібнозернисті, перекристалізовані, з багатим комплексом форамініфер); вище з'являються *пакстоуни кріноїдні* (тонкозернисті, часто перекристалізовані, частково доломітизовані, подекуди з дрібними уламками коралів, пелеципод та форамініфер), *грейнстоуни біокластичні* (тонко- та дрібнозернисті, інтенсивно перекристалізовані, подекуди з включеннями піриту, органічні рештки представлені кріноїдеями, моховатками, водоростями *Girvanella* та форамініферами), *агрегаційно-комкуваті грейнстоуни (грейпстоуни)* (дрібно-, середньозернисті, з інтраклас-тами, представленими органогенними обкатаними уламками різної форми та розмірів карбонатних порід з форамініферами, моховатками, спікулами, кріноїдеями, покриті оболонкою та мікритизовані), *пакстоуни форамініферо-водоростеві* (тонкозернисті; присутня у достатньо великій кількості мікритова складова), *пакстоуни водоростеві* (мікрозернисті з мікритом, органічні рештки представлені також стулками остракод, уламками брахіопод та форамініферами);

3) карбонати перехідної зони XIII-XIIa МФГ представлені *вакстоуном біокластичним* (тонкозернистий, глинистий, частково перекристалізований, піритизований, збагачений дрібними уламками стулок остракод, пелеципод, уламків брахіопод, кріноїдів та водоростей, присутні також бідний комплекс погано збережених форамініфер) та *грейнстоуном* (дрібнозернистий, однорідний, без глинистої домішки, зі стулками остракод та поодинокими форамініферами);

4) XIIa МФГ: *пакстоуни біокластичні* (тонкозернисті, з домішкою глинистого матеріалу, рештками кріноїдів, моховаток, голок та уламків брахіопод, рідко синьозеленими водоростями *Nodosinella*, *Girvanella* та форамініферами) та *вакстоуни біокластичні* (мікрозернисті, мікритизовані, інколи з включеннями піриту, в яких трапляються спікули, кріноїдеї, моховатки, стулки остракод та одиничні форамініфери);

5) Перехідні верстви XIIa-XII МФГ представлені *грейнстоуном біокластичним* (дрібнозернистий, місцями глинистий, перекристалізований, з кріноїдеями, голками брахіопод, стулками остракод, синьозеленими водоростями *Girvanella* та форамініферами) та *вакстоуном* (тонкозернистий, глинистий, злегка перекристалізований, піритизований, з біокластами кріноїдів, брахіопод, гастропод, коралів, моховаток та різноманітних водоростей *Nodosinella*, *Girvanella*, *Cyroporella*);

6) XII МФГ: *пакстоун біокластичний* (мікрозернистий, мікротріщинуватий, неоднорідний, місцями глинистий та доломітизований, з великою кількістю уламків кріноїдів, моховаток, гастропод та одиничних форамініфер), *вакстоун біокластичний* (з мікритовим цементом, часто спостерігається піритизація, серед органічних решток трапляються моховатки, стулки остракод, кріноїдеї, голки брахіопод, форамініфери, червоні водорості *Ungdarella* та синьозелені *Nodosinella*, *Girvanella*) є типовим для XII МФГ;

7) перехідна зона XII-XI МФГ: *грейнстоун мікробіальний* (мікрозернистий, згустки різних розмірів, складені пелітоморфним або мікрозернистим карбонатом; органічні рештки присутні у невеликих кількостях – стулки остракод, моховатки, кріноїдеї, форамініфери), *пакстоун водоростевий* та *форамініферо-водоростевий*;

8) у відкладах XI МФГ спостерігаються: *грейнстоун біокластичний* (дрібнозернистий, місцями сильно перекристалізований, або доломітизований, з різноманітними органічними рештками), *вакстоун* (мікрозернистий, глинистий; в складі уламків різноманітні органічні рештки), *пакстоун біокластичний* (мікрозернистий, глини-

тий, перекристалізований, присутні рештки кріноїдів, моховаток, гастропод, голок брахіопод тощо, містить *Calcifolium* та *Girvanella*, трубчасті водорості з перегородками та форамініфери), *грейнстоун* (середньозернистий, з домішкою глинистого матеріалу, сильно розкристалізований, з великою кількістю погано збережених спікул і нечисленними моховатками, кріноїдеями, стулками остракод і комплексом форамініфер), *пакстоун кріноїдний* (мікрозернистий, глинистий, трапляються спікули та одиничні форамініфери), *вакстоун біокластичний* (мікрозернистий з кріноїдеями, коралами, моховатками, брахіоподами, з включеннями піриту, також зустрічаються уламки водоростей та форамініфер), *пакстоун форамініферовий* (тонкозернистий, глинистий, з уламками кріноїдів, брахіопод, пелеципод, обривками водоростей *Calcifolium* та *Girvanella*, з багатим комплексом форамініфер), *пакстоун біокластичний* (тонкозернистий, мікритовий, злегка піритизований).

Реконструкція умов карбонатної седиментації.

Дослідження візейських карбонатних відкладів південної прибортової зони ДДЗ показало, що вони характеризуються наявністю численних та різноманітних комплексів мікрофауни та альгофлори. З різними мікофаціальними типами асоціюють різноманітні комплекси форамініфер, водоростей та інших організмів, тобто розподіл органічних решток в розрізі нерівномірний. Це обумовлено впливом різних факторів, що характеризували давні обстановки седиментації (глибина моря, температура, солоність, гідродинамічний режим, характер субстрату, склад бентосу та ін.).

Чисельність та видовий склад водоростей в основному залежали від прозорості води, глибини басейну (до 150-200 м), субстрату (наявність глинистої складової) та солоності. Наприклад, синьозелені водорості характерні для мілководних ділянок та існували в солоних і прісних водах при температурах від -1,8 до +80°C і більше [8, с. 10]. Зелені водорості жили в умовах теплопого морського басейну з температурою води не нижче +20°C і глибин до 60 м (мілководна, або неритова зона шельфів) [2, 8].

Приблизно такі ж самі фактори впливали і на поширення форамініфер. Зокрема, встановлено, що в холодних водах переважають форамініфери з аглютинованою стінкою раковини, а в теплих –карбонатною та секретійними стінками. Форамініфери відрізняються великою мінливістю та пристосованістю до умов навколишнього середовища. Морфологічні ознаки, які виникли в процесі індивідуальної, внутрішньовидової і видової пристосувальної мінливості, також можуть вказувати на яг на умови осадконакопичення, так і на інші фізико-географічні фактори зовнішнього середовища. Наприклад, кілеваті двосторонньою симетричні раковини можуть вказувати на швидке осадконакопичення. Для ділянок зі значною швидкістю осадконакопичення характерні більш видовжені форми, розкручування спіралью завернутих форм та ін. В більшості випадків розміри особин, товщина стінки раковин і чисельність особин одного виду також є важливими показниками сприятливих біономічних умов [8, с. 33-34].

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що карбонатні породи XIV МФГ формувались в умовах субліторальної прибережно-морської зони. Дуже поширеними тут були зелені світлолюбні водорості. В органогенних вапняках, які формувались при нормальному гідродинамічному режимі, фауна форамініфер численніша. Зі збільшенням домішок глинистого матеріалу різноманіття водоростей та форамініфер зменшується. Появі численних донних форамініфер сприяв нормальний гідродинамічний режим та нормальна солоність, а

також наявність поживних речовин, необхідних для їх життєдіяльності.

Часте чергування різнофаціальних відкладів XIII МФГ свідчить про нестабільність осадконакопичення, що виражається в почерговій зміні *грейнстоунів пакстоунами* та навпаки (коливання кількості глинистого матеріалу), що очевидно залежало від гідродинамічного режиму. За Дж. Л. Уїлсоном [11], такі породи відповідають стандартним мікрофаціям (СМФ) 16-18, що формувались у фаціальних поясах 7 та 8. Наявність *агрегаційно-грудкуватих грейнстоунів (грейпстоунів)* у верхах цього горизонту, а саме обкатаність та мікритизація уламків вказує на значну гідродинамічну активність теплового мілководдя. Такі умови виникали на окраїнах підводних платформ (6 фаціальний пояс, СМФ 17) на відстані декількох кілометрів від краю платформи.

Процес утворення XII МФГ відбувався в умовах 2 та 7 фаціальних поясів: *пакстоуни* (СМФ 10) формувались під впливом штормів поблизу мілин і відкладались в спокійному середовищі; *вакстоуни* (СМФ 8-9) – у неритовій зоні мілководдя на схилах карбонатної платформи (низькоенергетична обстановка осадконакопичення, нижче нормального базису дії хвиль, про що свідчить хороша збереженість решток фауни, а також значний вміст глинистої домішки). Для схилів платформи характерні змішані автохтонні та алохтонні відклади.

Карбонатні породи XII МФГ свідчать про обміління та подальше поступове поглиблення басейну. Це підтверджується змінами літологічного складу, заміщенням вгору по розрізу біокластичних дрібнозернистих вапняків мікрозернистими, глинистими, подекуди піритизованими. Останнє вказує на слабку рухливість придонних вод, виникнення відновлювальних умов за рахунок розкладання органічної речовини, що накопичувалась в ізольованих ділянках басейну.

При переході від відкладів XII до XI МФГ виявлено *мікробіальний грейнстоун (аутомікрит)*, що відповідає умовам крутого схилу карбонатної платформи. Глибина басейну могла сягати 200 м. Поява вище по розрізу *водоростевих та форамініфери-водоростевих пакстоунів* зі скученнями синьозелених водоростей *Girvanella* та уламків *Calcifolium* знову свідчить про повернення обстановок осадконакопичення в субліторальну прибережно-морську зону (до глибин 60 м) [8, с. 10].

Висновки. Проведені мікрофаціальні і палеонтологічні дослідження із використанням узагальнених моделей Дж. Л. Уїлсона та Е. Флюгеля разом з наявними узагальненими даними свідчать про те, що формування візейських карбонатних порід південної прибортової зони ДДЗ відбувалось у мінливих умовах різних фаціальних зон. У відповідності зі згаданими моделями виділяється 10 стандартних фаціальних зон (ФЗ), що послідовно змінюються від карбонатних порід, що складають підняте над рівнем вод узбережжя (ФЗ 10) до глибоководних западин, дно яких недосяжне навіть для штормових хвиль (ФЗ 1). Адаптація цих моделей до візейських карбонатних відкладів південної прибортової зони ДДЗ дозволила припустити наступне.

У ранньому візі (XIV-XIII МФГ) тут існувала стійка карбонатна платформа, внутрішня структура якої ускладнювалась наявністю палеопідняття та палеодепресій (ФЗ 7 та 8), що обумовило виникнення мікрофацій, ідентифікованих як СМФ 16-18. У візейському віці подібні умови виникали у різних регіонах світу, зокрема на території Ірану [16], Казахстану [1, 7, 14] та інших країн. Так, Прикаспійська западина характеризується широким розвитком пізньопалеозойських карбонатних комплексів, які в більшості випадків утворюють ізольовані зони, що отримали назви внутрішньобасейнових карбонатних платформ. По периферії западини підсо-

льовий розріз представлений декількома потужними (до 1000 м і більше) мілководними карбонатними товщами верхнього девону – нижньої пермі, розділеними теригенними серіями.

Починаючи з часу формування XII МФГ, карбонатна платформа трансформувалась у глибоководний, можливо некомпенсований басейн, у межах якого переважали глиниста седиментація. Умови для формування карбонатних порід виникали лише епізодично на підняттях (мілинах) відкритого шельфу (ФЗ 7) та в умовах глибоководного шельфу (ФЗ 2). Добре збережені рештки фауни та значний вміст глинистої складової свідчать про низькоенергетичні обстановки осадконакопичення, які відбувались нижче базису дії хвиль.

У пізньовізейський час басейн поступово перетворювався у близький до паралічного з частою зміною умов седиментації, що відбувалось на фоні стійкого занурення. Карбонатування в цей час періодично переривалось внаслідок надходження у басейн значних мас теригенного та глинистого матеріалу. Якщо протягом формування XII МФГ переважала мілководна карбонатна седиментація ФЗ 7 і 8, то пізніше (XI МФГ) періодично виникають глибоководніші утворення крутого схилу карбонатної платформи (ФЗ 4) та глибоководного шельфу (ФЗ 2).

Перспективи подальших досліджень. Описані в статті мікрофаціальна характеристика карбонатних порід та реконструкція умов їх формування не претендують на повноту, оскільки базуються на вивченні лише фрагментів керну. Зокрема, залишились невивченими карбонатно-кременисті утворення рудівських верств (XIII^в МФГ), карбонатні породи василівської світи (X МФГ), органогенні споруди, що раніше були описані у візейських відкладах [4]. Так само недостатньо інформації щодо латеральної фаціальної мінливості одновікових відкладів, що пов'язано як з фрагментарним відбором керну, так і з віддаленістю свердловин одна від одної. Вказане окреслює основні напрями подальших досліджень.

Автор висловлює подяку генеральному директору ДП "Укрнаукагеоцентр" Голубу П.С. за надану можливість роботи у шліфотеці підприємства, а також співробітникам відділу стратиграфії, особливо Голуб Ользі Григорівні за технічну допомогу, доброзичливе ставлення, цінні поради та консультації.

Список використаних джерел:

- Ахияров А. В. Палеозойские карбонатные платформы Прикаспийской впадины как нефтегазопоисковые критерии / А. В. Ахияров, К. М. Семёнова // Научно-технический сборник "Вести газовой науки". – 2013. – №5 (16). – С. 238-252.
- Берченко О. И. Известковые водоросли визейских отложений Дно-Днепровского прогиба / О. И. Берченко, О. А. Сухов. – К.: Наук. думка, 2013. – 165 с.
- Білик А. О. Стратиграфія, кореляція і перспективи нафтогазоносності турнейських і візейських відкладів Дніпровсько-Донецької западини / А. О. Білик, Г. І. Вакарчук, В. І. Іванишин. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2002. – 111 с.
- Вакарчук С. Г. Геологія, літологія і фації карбонатних відкладів візейського ярусу центральної частини Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку з нафтогазоносністю / С. Г. Вакарчук. – Чернігів: ЦНТИ, 2003. – 163 с.
- Вдовенко М. В. Визейский ярус. Зональное расчленение и палеозоогеографическое районирование (по фораминиферам) / М. В. Вдовенко. – К.: Наук. думка, 1980. – 169 с.
- Ефименко В. И. Экология и фациальная приуроченность фораминифер и водорослей переходных турнейско-визейских отложений юго-восточной прибортовой части Днепровско-Донецкой впадины / В. И. Ефименко // Збірник наукових праць: Геологічний інститут Київського університету. – 1995. – №1. – С. 48-54.
- Кузнецов В. Г. Палеозойское карбонатонакопление в Прикаспийской впадине и ее обрамлении / В. Г. Кузнецов // Литология и полезные ископаемые. – 1998. – № 5. – С. 494-503.
- Маслов В. П. Атлас поробразующих организмов (известковых и кремневых) / В. П. Маслов. – М.: Наука, 1973. – 267 с.
- Полетаев В. І. Стратотипи регіональних стратиграфічних підрозділів карбону і нижньої пермі Дно-Дніпровського прогину / В. І. Полетаев, М. В. Вдовенко, О. К. Щоголев та ін. – К.: Логос, 2011. – 236 с.

10. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Гол. ред. П. Ф. Гожик. – К.: Логос, 2013. – 638 с.

11. Уилсон, Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории: пер. с англ. – М.: Недра, 1980. – 463 с.

12. Фортунатова Н.К. Атлас структурных компонентов карбонатных пород / Н.К. Фортунатова, О.А. Карцева, А.В. Баранова и др. – М.: ВНИГНИ, 2005. – 440 с.

13. Хворова И. В. Особенности изучения карбонатных пород / И.В. Хворова // Методы изучения осадочных пород. – М.: Госгеолтехиздат, 1957. – С. 284-307.

14. Cook H. E. Devonian and Carboniferous carbonate platforms in the Karatau of S. Kazakhstan: outcrop analogs for coeval carbonate reservoirs in the N. Caspian Basin [Abs.] / H.E. Cook, V.G. Zhemchuzhnikov, W.G. Zempolich et al. // Am. Ass. Petrol. Geol. Bull. – 1997. – №81. – 8. – P. 1367-1368.

15. Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture / R. J. Dunham / Classification of carbonate rocks / W.E. Hart (Ed.) // Am. Ass. Petrol. Geol. Mem. – 1962. – №1. – P. 108-121.

16. Falahatgar M. Microfacies and palaeoenvironments of the Lower Carboniferous Mobarak Formation in the Kiyasar section, Northern Iran / M. Falahatgar, H. Mosaddeq // Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. – 2012. – №82. – P. 9-20.

17. Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. 2nd Edition / E. Flügel. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 984 p.

18. Folk R. L. Practical petrographic classification of Limestones / R. L. Folk // Am. Ass. Petrol. Geol. – 1959. – №43. – P. 1-38.

References:

1. Akhiyarov A.V., Semenova K.M. (2013). Paleozoyskiye karbonatnye platformy Prikaspiyskoy vpadiny kak neftegazopiskovye kriterii. Nauchno-tekhnicheskii sbornik "Vesti gazovoy nauki", 5 (16), 238-252. [In Russian].

2. Berchenko O.I., Suhov O.A. (2013). Izvestkovye vodorosli vizeyskikh otlozhenij Dono-Dneprovskogo progiba. Kyiv: Naukova dumka, 165 p. [In Russian].

3. Bilyk A.O., Vakarchuk G.I., Ivanyshyn V.I. (2002). Stratygrafia, korelyatsiya i perspektyvy naftogazonosnosti turneyskikh i vizeyskikh vidkladiv Dniprovsko-Donetskoyi zapadyny. Chernigiv: Chernigivski oberegy, 111 p. [In Ukrainian].

4. Vakarchuk S.G. (2003). Geologiya, litologiya i faciyyi karbonatnykh vidkladiv vizeyskogo yarusu centralnoy chastyny Dniprovsko-Donetskoyi zapadyny u zvyazku z naftogazonosnistyu. Chernigiv: ThNTI, 163 p. [In Ukrainian].

5. Vdovenko M.V. (1980). Vizeyskiy yarus. Zonalnoe raschlenenie i paleozoogeograficheskoe rayonirovaniye (po foraminiferam). Kiev: Naukova dumka, 169 p. [In Russian].

6. Efimenko V.I. (1995). Ekologiya i fatsialnaya priurochennost foraminifer i vodorosley perekhodnykh turneysko-vizeyskikh otlozheniy yugovostochnoy pribortovoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Zbirnik naukovikh prats. Kyiv: Geologichnyi institut Kyivskogo universitetu, 102 p. [In Russian].

7. Kuznetsov V.G. (1998). Paleozoyskoe karbonatonakopleniye v Prikaspiyskoy vpadine i eye obramlenii. Litologiya i poleznyye iskopaemyye, 5, 494-503. [In Russian].

8. Maslov V.P., (1973). Atlas porodoobrazuyushchikh organizmov (izvestkovykh i kremnevykh). Moscow: Nauka, 267 p. [In Russian].

9. Polyetayev V.I., Vdovenko M.V., Shhogyev O.K. et al. (2011). Stratygiy regionalnykh stratyfichnykh pidrozdliv karbonu i nyzhnoyi permi Dono-Dneprovskogo progynu. Kyiv: Logos, 236 p. [In Ukrainian].

10. Gozhyk P.F. et al. (2013). Stratygrafia verkhnyogo proterozoyu ta fanerozoyu Ukrainy: u dvox tomakh. T.1: Stratygrafia verkhnyogo proterozoyu, paleozoyu ta mezozoyu Ukrainy. Kyiv: Logos, 638 p. [In Ukrainian].

11. Wilson J. L. (1975). Carbonate Facies in Geologic History. New York: Springer-Verlag, 471 p.

12. Fortunatova N.K., Kartseva O.A., Baranova A.V., Agafonova G.V., Ofman I.P. (2005). Atlas strukturnykh komponentov karbonatnykh porod. Moscow: VNIGNI, 440 p. [In Russian].

13. Khvorova I.V. (1957). Osobennosti izucheniya karbonatnykh porod. Metody izucheniya osadочnykh porod. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 284-307. [In Russian].

14. Cook H. E., Zhemchuzhnikov V. G., Zempolich W. G et al. (1997). Devonian and Carboniferous carbonate platforms in the Karatau of S. Kazakhstan: outcrop analogs for coeval carbonate reservoirs in the N. Caspian Basin [Abs.]. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull, 81, 8, 1367-1368.

15. Dunham R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, 108-121.

16. Falahatgar M., Mosaddeq H. (2012). Microfacies and palaeoenvironments of the Lower Carboniferous Mobarak Formation in the Kiyasar section, Northern Iran. Rosario. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología, 82, 9-20.

17. Flügel E. (2010). Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. 2nd Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 984 p.

18. Folk R. L. (1959). Practical petrographic classification of Limestone. American Association of Petroleum Geologists, 43, 38 p.

Надійшла до редколегії: 05.04.16

M. Liashchova, Postgraduate Student

E-mail: mariialishchova@gmail.com

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

MICROFACIES TYPES AND PALEONTOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE VISEAN CARBONATE ROCKS (THE SOUTHERN ZONE OF DNEIPER-DONETS BASIN)

Foraminifera and microfacies of the Visean carbonate rocks of the Southern zone Dnieper-Donets basin are studied. Microscopy study of carbonate rocks allowed us to establish their mineral composition, textural and structural features, the degree and nature of the secondary changes and to describe the main microfacies. The Visean carbonate rocks are represented by the following microfacies types: bioclastic, foraminiferal, foraminiferal-algal, algal, microbial (peloidal), aggregate-grain (grapestones) grainstones; bioclastic, foraminiferal, algal, foraminiferal-algal, crinoidal packstone and wackstone. The study of faunal debris and algal flora combined with a microfacies analysis allowed us to approach the reconstruction of carbonate sedimentation conditions. Biota and microfacies of the studied carbonate rocks indicate the presence of four facies zones (FZ). These are FZ 2 deep shelf, FZ 6 platform-margin shoals, FZ 7 platform interior-normal marine and FZ 8 platform interior – restricted. The standard microfacies types (SMF) are represented by SMF 8-9 (bioclastic wackstone), SMF 10 (bioclastic packstone), SMF 16 (microbial (peloid) grainstone), SMF 17 (aggregate-grain (grapestone) grainstone), SMF 18 (bioclastic grainstone and packstone with abundant and rock-building benthic foraminifera or calcareous green algae). This shows that the studied rocks were deposited in a carbonate platform zone and its slopes. Stagnant areas with limited water circulation are locally occurred.

Keywords: microfacies, foraminifera, carbonate sedimentation, Visean, the Southern zone of Dnieper-Donets basin.

M. Ляшова, асп.

E-mail: mariialishchova@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

МИКРОФАЦИАЛЬНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИЗЕЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ЮЖНОЙ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ ДДЗ

Исследованы фораминиферы и микрофации визейских карбонатных пород южной прибортовой зоны Днепро-Донецкой впадины. Микроскопическое изучение карбонатных пород позволило установить их минеральный состав, текстурные и структурные особенности, степень и характер вторичных изменений, описать основные микрофацциальные типы. Визейские карбонатные породы представлены следующими микрофацциальными типами: биокластические, фораминиферовые, фораминиферо-водорослевые, водорослевые, микробные (пеллоидные), агрегационно-комковатые (грейпстоуны) грейпстоуны; биокластические, фораминиферовые, водорослевые, фораминиферо-водорослевые, криноидные пакстоуны и вакстоуны. Изучение фаунистических остатков и альгофлоры в комплексе с микрофацциальными исследованиями позволило приблизиться к реконструкции условий карбонатной седиментации. Микрофации и состав биоты указывают на четыре фацциальные зоны (ФЗ): ФЗ 2 глубинного шельфа, ФЗ 6 окраины подводных платформ, ФЗ 7 открытого моря карбонатной платформы и ФЗ 8 ограниченного водообмена на карбонатных платформах. Стандартные микрофации (СМФ) включают: СМФ 8-9 (биокластический вакстоун), СМФ 10 (биокластический пакстоун), СМФ 16 (микробный (пеллоидный) грейпстоун), СМФ 17 (агрегационно-комковатый грейпстоун (грейпстоун), СМФ 18 (биокластический грейпстоун и пакстоун с разнообразными фораминиферами и зелеными водорослями). Это свидетельствует о том, что исследованные породы образовывались в условиях карбонатной платформы и ее склонов. Локально возникали застойные участки с ограниченной циркуляцией водных масс.

Ключевые слова: микрофации, фораминиферы, карбонатонакопление, визейский ярус, южная прибортовая зона Днепро-Донецкой впадины.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 553.611.6

О. Андрєєва, канд. геол. наук, наук. співроб.
E-mail: andreeva_ea@ukr.net;

В. Шунко, канд. геол.-мін. наук, доц.
E-mail: shunko_v@ukr.net

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

О. Гречановська, канд. геол. наук, наук. співроб.
E-mail: e.grechanovskaya@gmail.com

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
пр. Акад. Палладіна 34, м. Київ – 142, 03680, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН
ЧЕРКАСЬКОГО БЕНТОНІТОНОСНОГО РАЙОНУ

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

Стаття присвячена дослідженню мінерального складу бентонітових глин Черкаського бентонітоносного району. Мета роботи – встановити однорідність та витриманість мінерального складу бентонітів району.

Стратиграфічно бентонітові глини Черкаського бентонітоносного району відносяться до боярської світи міоцену. Територія поширення цих відкладів дуже значна. Стратотипом боярських відкладів вважають Дашуківську ділянку Черкаського родовища та свердловину 8504. В даній роботі за допомогою рентгеноструктурних методів досліджувався мінеральний склад бентонітових глин з кар'єру Дашуківської ділянки та порівнювався з результатами попередніх досліджень бентонітів з свердловини 8504. Встановлено, що мінеральний склад зразків досить однорідний, але зустрічаються деякі відмінності. За допомогою електронно-зондового мікроаналізу встановлювався хімічний склад окремих часток монтморилоніту для оцінки його однорідності (свердловина 8504). Встановлено, що хімічний склад монтморилонітів за результатами точкових аналізів однорідний.

Проведене співставлення результатів дослідження глинистих мінералів боярської світи свідчить про її досить витриманий мінеральний склад. Це розширює можливості приросту запасів Черкаського родовища бентонітових і палигорських глин.

Ключові слова: бентонітові глини, мінеральний склад, боярська світа, Черкаське родовище.

Вступ та постановка проблеми. Черкаське родовище бентонітових та палигорськітових глин є найбільш значимим об'єктом мінерально-сировинної бази бентонітових глин України. Основний об'єм видобутку вітчизняної бентонітової сировини дає саме Черкаське родовище, запаси якого складають близько 80% балансових запасів країни. Майже весь об'єм видобутої сировини використовується вітчизняними підприємствами, сировина частково експортується до Росії, Білорусії та Польщі. Для задоволення потреб металургійних підприємств більш якісна бентонітова сировина до України імпортується. Туреччина та Сполучені Штати Америки є постійними постачальниками бентонітових глин до нашої країни.

Бентонітові глини Черкаського родовища стратиграфічно відносяться до боярської товщі (міоцен) [5]. Відклади цієї товщі поширені на значній території і утворюють Черкаський бентонітоносний район.

Оскільки територія поширення цих відкладів дуже значна і на родовищі постійно відбувається видобуток сировини, виникає необхідність оцінити та порівняти однорідність та витриманість мінерального складу (а отже і якості) сировини з різних частин району.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Завдяки використанню рентгеноструктурних методів дослідження глини при проведенні геологічної зйомки на півночі Черкаської області було відкрито найбільше в світі і перше на Євразійському континенті родовище бентонітових і палигорськітових глин. Його першовідкривачами були професор Є.Г. Куковський та геологи А.Е. Фурса і Ф.М. Головатий. Є.Г. Куковський багато років займався дослідженням фізико-хімічних властивостей глини Черкаського родовища [2].

Бентонітові глини Черкаського родовища активно досліджувались починаючи з 60-х років минулого століття. В літературі досить ґрунтовно висвітлено результати наукових досліджень з геології, мінералогії, фізико-хімічних особливостей бентонітових глини виконаних протягом другої половини минулого століття. Бентонітові глини України були об'єктами вивчення відомих українських геологів Є.К. Лазаренка, Ю.Ф. Пекуна,

Ф.Д. Овчаренка, Н.Г. Кириченка, Л.П. Кириченка, В.І. Лебединського, М.І. Любки, А.Б. Островської, Ю.Н. Брагіна, М.Ф. Соболевської та інших [1, 6].

Характеристика території дослідження. Черкаське родовище складається з декількох ділянок (Дашуківська, Босівська, Ріпкинська). Основний видобуток ведеться на Дашуківській ділянці.

На родовищі виділяють п'ять шарів, які різняться між собою за мінералогічним складом та фізико-механічними властивостями.

Характеристика досліджуваних відкладів [6]:

I шар – темно-сіра глина, в'язка, пластична, з вапняковими включеннями; полімінеральна – монтморилоніт лужноземельний (40%), палигорськіт (20%), гідрослюда (гідробіотит) (15-25%), кальцит (12-16%), кварц (1-2%), органіка 0,3-1%), інші мінерали (0,5%);

II шар – глини зеленувато-сірі, щільні, в'язкі, високопластичні, з вапняковими включеннями у нижній частині, збагачені опалом; монтморилонітові – монтморилоніт лужноземельний (90-99%), домішки;

III шар – глина світло-сіра, коричнево-зеленувата, трепеловидна, легка, пориста, іноді з прошарками вапняку у верхній та нижній частинах шару; палигорськітові – палигорськіт (95-97%), домішки кварцу, монтморилоніту та карбонатів;

IV шар – глини світло-коричневі, щільні, восковидні, з примазками мінералів марганцю, з опалом у нижній частині; полімінеральні – палигорськіт (30-50%), монтморилоніт (50-70%);

V шар – глини темно-зелені, щільні з значними домішками кварцового піску; полімінеральні – монтморилоніт (40-50%), гідрослюда (20-30%), палигорськіт (30-20%), кварц (2%).

Матеріали і методи дослідження. Стратотипом боярської товщі вважають Дашуківський кар'єр та свердловину 8504, де розкриті, відповідно, верхня частина розрізу та повний розріз товщі (рис.1а) [4]. З метою оцінити однорідність та витриманість мінералогічного складу глинистих відкладів району проведено дослідження глини, які було відібрано на цих двох об'єктах.

Зі свердловини 8504 було відібрано 11 зразків з усіх п'яти шарів продуктивної товщі (рис.1в) [3]. Зі стінок

кар'єру Дашуківської ділянки (рис. 1б) було відібрано 7 зразків з II, III та V шару.

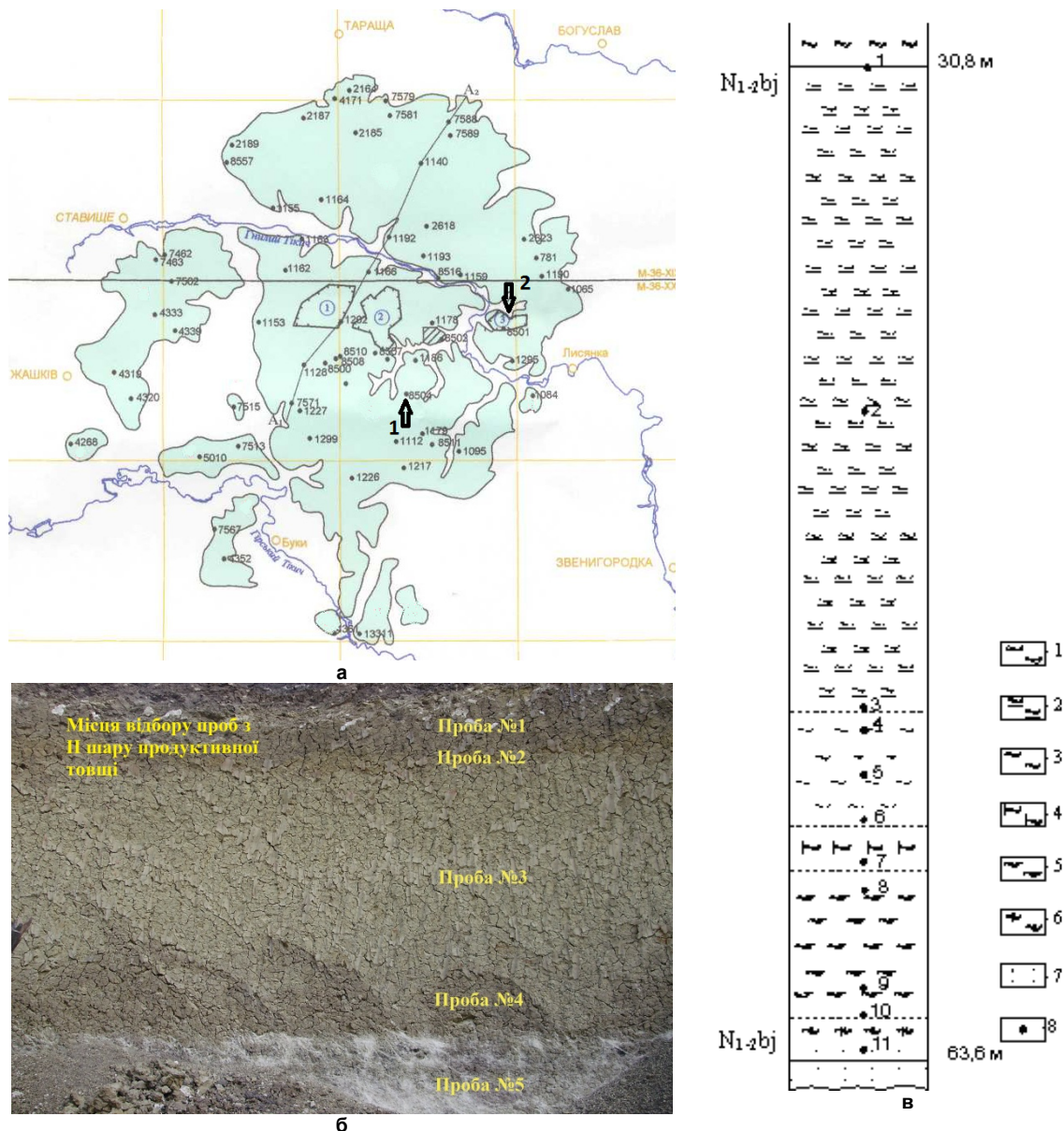


Рис. 1. Територія дослідження. Черкаський бентонітоносний район:

а – карта поширення боярських відкладів [4]: 1 – свердловина 8504, 2 – Дашуківська ділянка; б – стінка кар'єру Дашуківської ділянки з позначеними місцями відбору проб (II шар); в – стратиграфічна колонка свердловини 8504: 1 – суглинки та глини, 2 – глини I шару, 3 – глини II шару, 4 – глини III шару, 5 – глини IV шару, 6 – глини V шару, 7 – пісок, 8 – місце відбору проб

Результати рентгеноструктурних досліджень глин з свердловини 8504 викладено в попередній праці [3]. В даній роботі надаються результати дослідження глин з Дашуківської ділянки та проводиться порівняння результатів.

Перед виконанням рентгеноструктурних досліджень проби попередньо відмочувались дистильованою водою для розділення на фракції $> 0,01$; $0,1-0,001$; $< 0,001$ мм (методика спрощеного відмочування фракцій глин для мінералогічного аналізу).

Крім того, було проведено електронно-зондовий мікроаналіз для визначення хімічного складу окремих часток монтморилоніту з метою оцінки його однорідності. Досліджувались зразки з II і IV шару зі свердловини 8504. Вони були підготовлені у вигляді спеціального препарату після відбору під бінокулярним мікроскопом і наклеєні на загальну основу – плівку, яка забезпечувала їх фіксацію.

Результати рентгеноструктурного дослідження бентонітових глин. Досліджувалась 21 проба глин з Дашуківського кар'єру: 7 вихідних зразків глин та 14 зразків глинистої фракції після відмочування. Результати дослідження проб наведено в таблиці 1.

Рентгеноструктурний аналіз порошкових зразків глин проводився на автоматичному дифрактометрі ДРОН-3М, на мідному випромінюванні ($\text{CuK}\alpha = 1,54178 \text{ \AA}$), з шагом сканування $0,05$ град/сек. Область сканування зразків – $15-65^\circ 2\theta$. Результати діагностики порівнювались з еталонними зразками банку даних PCPDFWIN (PDF-2) 2003 р. американської картотеки.

На рис. 2 представлено дифрактограми проб з II шару (проби №1-5), на рис. 3 – III шару (проба №6) та V шару (проба №7). Рентгенівські порошкові дані (міжплощинні відстані та інтенсивності рентгенівських ліній) наведено в табл. 1. Результати якісного фазового аналізу наведено в табл. 2.

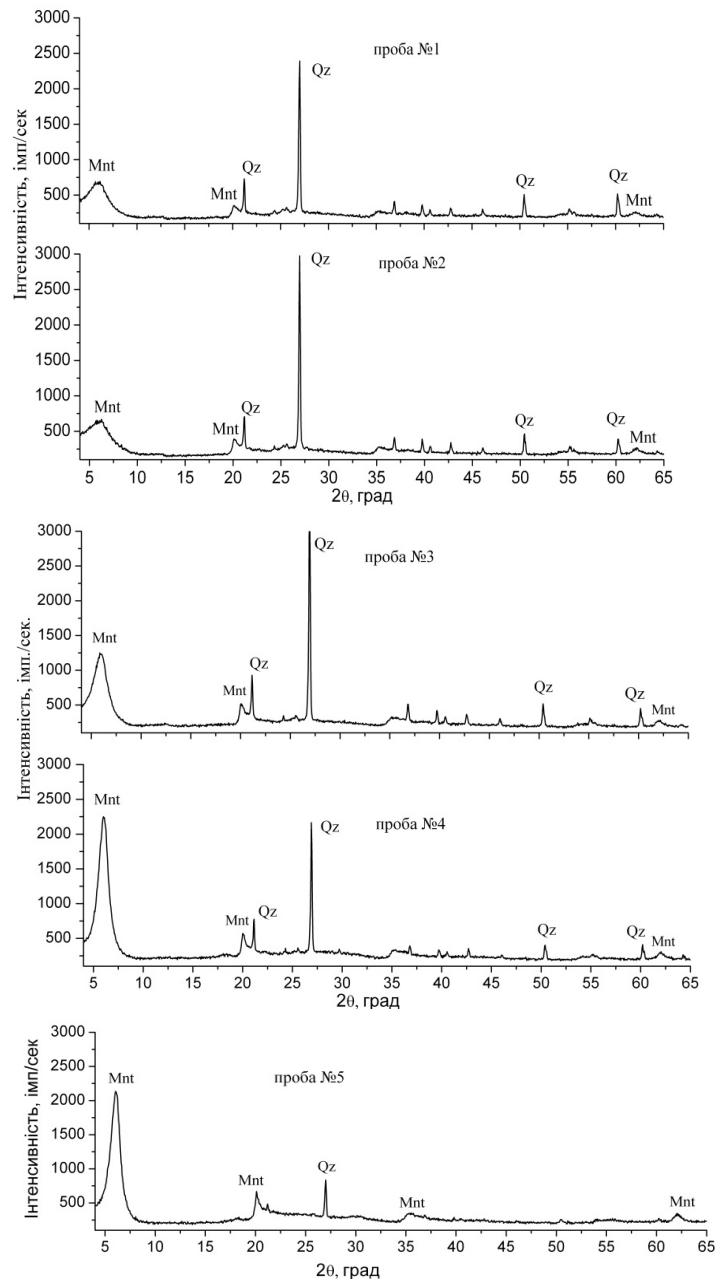


Рис. 2. Дифрактограми бентонітових глин Дашуківської ділянки Черкаського родовища, II шар (Mnt – монтморилоніт, Qz – кварц)

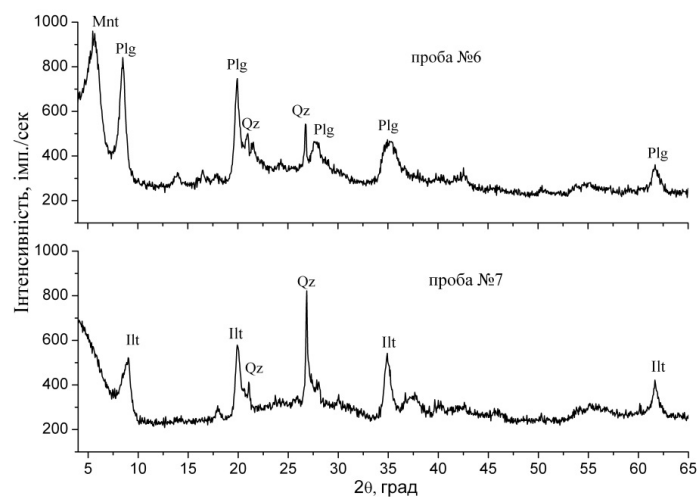


Рис. 3. Дифрактограми бентонітових глин Дашуківської ділянки Черкаського родовища, III (проба №6) і V (проба №7) шар (Mnt – монтморилоніт, Qz – кварц, Plg – палигорськіт, Ilt – іліт)

Перші 5 проб відібрано з II шару продуктивної товщі і за результатами фазового аналізу вони представлені кварцом та Са-монтморилонітом. До глибини 5,8 м у всіх фракціях переважає кварц. У нижній частині шару з глибини 6,5 до 7,4 м переважаючою фазою є Са-монтморилоніт.

Дифрактограма проби № 6 відібраної на глибині 9 м (III шар) має зовсім інший вигляд. Основною відмінністю є поява палигорськіту. В достатній кількості присутній Са-монтморилоніт, в незначній кількості кварц і польовий шпат.

Таблиця 1

Рентгенівські порошкові дані (міжплощинні відстані та інтенсивності рентгенівських ліній)
для бентонітових глин Дашуківського родовища

Вихідний зразок													
№1		№2		№3		№4		№5		№6		№7	
d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}
15,6*	13	15,6*	8	15,1*	25	14,7*	94	15,3*	100	15,9*	19	9,99*	26
4,41*	8	4,42*	8	4,43*	10	4,44*	19	4,45*	22	10,4**	100	4,9*	19
4,22**	25	4,20**	19	4,20**	23	4,20**	29	4,23**	15	6,3**	13	4,43*	80
3,34**	100	3,33**	100	3,34**	100	3,32**	100	3,33**	33	4,45**	62	4,21**	39
2,55*	5	3,06*	3	2,55*	4	3,0*	7	3,09*	7	4,23+	34	3,32*	100
2,45**	10	2,55*	4	2,44**	10	2,54*	7	2,56*	8	4,15**	30	2,56*	64
2,26*	8	2,44**	9	2,27*	7	2,44**	10	2,45**	7	3,67**	22	2,44**	34
2,22**	5	2,27*	8	2,22**	4	2,27*	7	2,27*	3	3,33+	46	2,12**	21
2,12**	6	2,22**	4	2,12**	5	2,22**	5	2,23**	3	3,21**	42	1,987**	15
1,969**	5	2,11**	6	1,971**	3	2,12**	8	2,12**	2	2,53**	37	1,81**	10
1,81**	15	1,81**	10	1,81**	10	1,971**	3	1,81**	3	2,24+	13	1,50*	24
1,537**	15	1,536**	8	1,537**	8	1,81**	11	1,54**	3	2,12+	15	*іліт, **кварц	
1,50*	3	1,50*	3	1,492*	3	1,537**	11	1,50*	7	1,81+	7		
*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		1,67+	11		
										1,50**	17		
										монтморилоніт, **палигорський, +кварц			
Глиниста фракція													
№1		№2		№3		№4		№5		№6		№7	
d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}	d, Å	I _{відн.}
15,3*	10	15,2*	5	15,3*	27	15,1*	100	15,1*	100	15,6*	69	10,1*	40
4,43*	12	4,44*	12	4,44*	13	4,44*	26	4,45*	34	10,4**	100	4,95*	18
4,22**	24	4,22**	22	4,22**	24	4,22**	27	4,22**	20	6,3**	13	4,43*	100
3,34**	100	3,33**	100	3,34**	100	3,32**	98	3,33**	37	4,45**	90	4,21**	42
2,55*	5	2,55*	5	2,55*	6	3,03*	10	3,0*	9	4,23+	50	3,32*	92
2,45**	9	2,45**	9	2,44**	11	2,55*	12	2,54*	13	4,13**	430	2,57*	76
2,26*	7	2,27*	7	2,27*	9	2,44**	15	2,45**	11	3,67**	22	2,44**	30
2,22**	4	2,23**	4	2,22**	5	2,27*	12	2,27*	5	3,33+	51	2,12**	20
2,12**	5	2,12**	6	2,12**	7	2,22**	8	2,23**	4	3,21**	46	1,981**	14
1,975**	3	1,975**	4	1,975**	5	2,12**	9	2,12**	4	2,55**	46	1,81**	5
1,81**	10	1,81**	10	1,81**	13	1,973**	6	1,81**	4	2,23+	10	1,50*	36
1,539**	7	1,536**	8	1,539**	8	1,81**	13	1,54**	3	2,12+	13	*іліт, **кварц	
1,50*	1	1,50*	3	1,499*	4	1,538**	10	1,50*	8	1,81+	5		
*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		*Са-монтморилоніт; **кварц		1,67+	12		
										1,50**	27		
										*монтморилоніт, **палигорський, +кварц			

Таблиця 2

Фазовий склад фракцій черкаської бентонітової глини (Дашуківський кар'єр)

№ проби	Положення в шарі, глибина (м)	Фазовий склад фракцій		
		> 0,01 мм	0,01-0,001 мм	< 0,001 мм
1	II верх 3,0	Кварц, тонко дисперсний Са-монтморилоніт	Кварц, тонко дисперсний, Са-монтморилоніт	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт
2	II середина 4,0	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт
3	II середина 5,8	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт	Кварц, тонкодисперсний Са-монтморилоніт
4	II низ 6,5	Са-монтморилоніт, кварц (рівна кількість)	Са-монтморилоніт, присутній кварц	Са-монтморилоніт, кварц (незначна кількість)
5	II низ 7,4	Са-монтморилоніт, кварц (незначна кількість)	Са-монтморилоніт, кварц незначна кількість)	Са-монтморилоніт, кварц (незначна кількість)
6	III середина 9,0	Палигорськіт, в незначній кількості Са-монтморилоніт, кварц, польовий шпат	Палигорськіт, Са-монтморилоніт, кварц і польовий шпат	Палигорськіт, Са-монтморилоніт, в незначній кількості кварц і польовий шпат
7	V середина 12,6	Кварц, тонкодисперсна гідрослюда та На-монтморилоніт	На-монтморилоніт (змішаношаруватий силікат?), присутні кварц і гідрослюда	Кварц, присутні На-монтморилоніт (змішаношаруватий силікат?) і гідрослюда

На глибині 12,6 м (V шар) судячи з дифрактограми проби №7 присутній кварц, Са-монтморилоніт змінюється На-монтморилонітом, зникають рефлекси палигорськіту і з'являється гідрослюда.

Результати рентгеноструктурного дослідження бентонітових глин (опорна свердловина 8504) детально викладено у попередній публікації [3].

Шаруваті силікати в зразках зі свердловини представлені монтморилонітом, гідрослюдою та каолінітом. До глибини ~57 м (I-III шар) монтморилоніт є переважальною фазою. Вміст каолініту та гідрослюди незначний. На глибині 62–63 м (низ IV – середина V шару) спостерігається палигорськіт. Кварц є постійною домішкою в усіх зразках. Вміст кварцу різко зменшується в тонкій фракції (< 0,001 мм). Кальцит трапляється доволі часто, але в невеликій кількості; його кількість збільшується в нижній частині III та верхній частині IV шару. Польовий шпат спостерігається рідко і в невеликій кількості (< 1–3 %).

Порівняння результатів. В табл. 3 представлено порівняльну характеристику проб, що були відібрані зі стінки кар'єру та з опорної свердловини. Порівнюється

фазовий склад проб з тих горизонтів, які дублюються в обох випадках – II, III та V шари.

Склад проб відібраних з II шару кар'єру та свердловини майже ідентичний. З II шару кар'єру було відібрано 5 проб. Встановлено, що з глибиною співвідношення кварцу та Са-монтморилоніту змінюється (в нижній частині шару Са-монтморилоніт переважає). У пробі з опорної свердловини (низ шару) Са-монтморилоніт є переважальною фазою.

Зі свердловини та з борту кар'єру з III шару було відібрано по одній пробі. Дифрактограма проби відібраної з кар'єру показує присутність палигорськіту, Са-монтморилоніту, кварцу та польового шпату. У пробі з опорної свердловини також присутній кварц та Са-монтморилоніт, але немає палигорськіту.

З опорної свердловини та з борту кар'єру з V шару було відібрано також по одній пробі (середина шару). Фазовий склад досить подібний: в обох пробах присутній кварц, монтморилоніт та гідрослюда. Відміною є те, що в пробі з опорної свердловини у фракції < 0,001 мм присутній палигорськіт.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика проб

Шар	Фазовий склад	
	Опорна свердловина	Кар'єр
II	Са-монтморилоніт, кварц, аморфна фаза	Са-монтморилоніт, кварц,
III	Са-монтморилоніт, кварц, кальцит, аморфна фаза	Са-монтморилоніт, кварц, польовий шпат, палигорськіт
V	Монтморилоніт, кварц, гідрослюда, аморфна фаза, палигорськіт	На-монтморилоніт, кварц, гідрослюда

Морфологія та хімічний склад бентонітових глин (свердловина 8504). За допомогою електронно-зондового мікроаналізу досліджувались 11 зразків зі свердловини 8504 (II та IV шар).

Під час проведення досліджень встановлювалась морфологія глинистих часток, їх однорідність та рівномірність. За допомогою електронно-мікроскопічних фотознімків встановлено високу однорідність часток за розміром та формою, відсутність зростань (рис. 4).

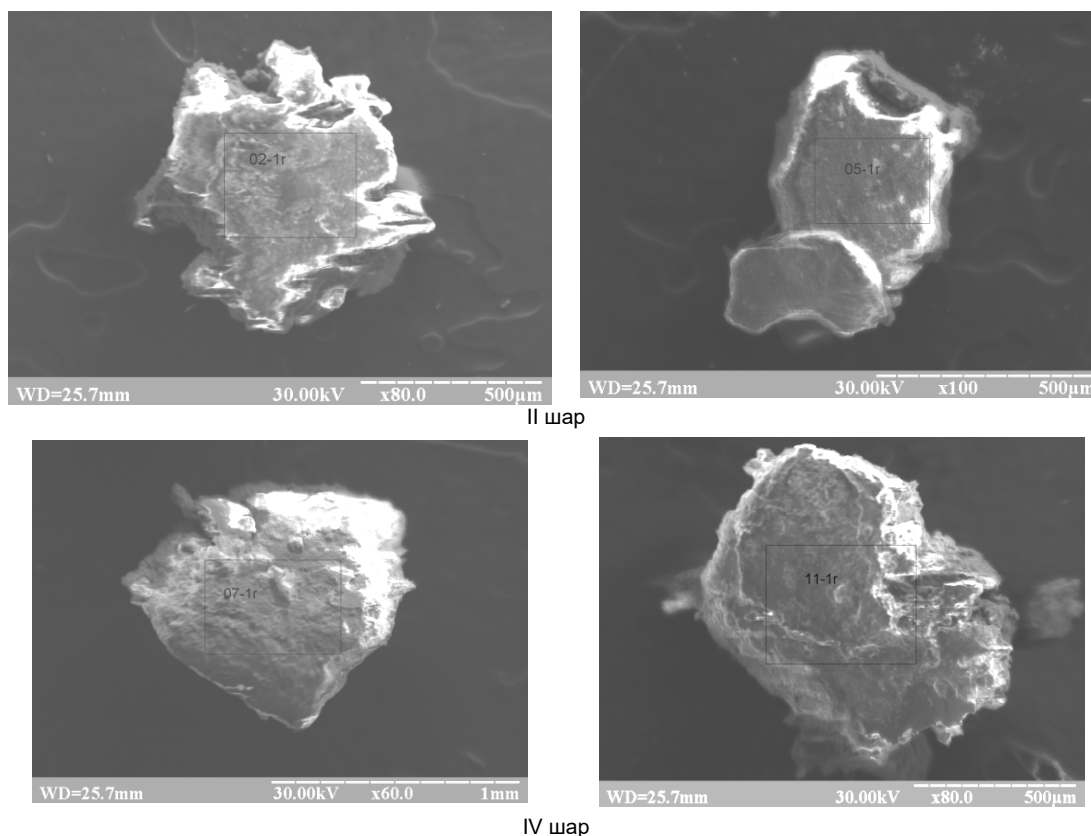


Рис. 4. Монтморилоніт (свердловина 8504) з позначеними точками аналізів

При подальших дослідженнях за результатами точкових мікроаналізів оцінювалась однорідність хімічного складу монтморилоніту. Результати аналізів зразків з II (зразки 01-1г – 05-1г) та IV шару (зразки 06-1г – 11-1г) свердловини 8504 подано в таблиці 4.

Проаналізовані глинисті частки за визначенням вмістів окремих елементів поділяються на два типи:

I тип – з підвищеним вмістом K_2O (1,26-2,48) і у деяких зернах Na_2O (0,09-0,11), за вмістом MgO (1,84-

3,22) переважає над CaO (0,45-0,64). Зразок з глибини 54 м (середина II шару);

II тип – з незначною кількістю K_2O (0,09-0,28) і відсутністю Na_2O , з майже однаковим вмістом MgO (0,09-1,03) і CaO (0,31-0,89). Зразок з глибини 62 м (низ IV шару).

Зразки з II шару характеризуються більшою величиною співвідношення $K_2O+Na_2O / CaO+MgO$ (середнє значення 0,65), ніж зразки з IV шару (середнє значення 0,08) (табл. 4).

Таблиця 4

Хімічний склад зразків за результатами електронно-зондового мікроаналізу окремих часток монтморилоніту (свердловина 8504)

	Зразок	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	Сума
II шар	01-1г	2,91	12,88	44,12	2,28	-	2,88	0,09	0,6	65,77
	01-2г	2,87	12,32	38,99	2,43	-	2,77	0,11	0,59	60,08
	02-1г	3,22	13,23	43,38	2,48	0,17	2,96	-	0,64	66,08
	03-1г	2,57	11,32	36,9	1,81	0,17	1,66	-	0,48	54,9
	04-1г	1,84	9,26	31,94	1,46	0,27	1,62	-	0,45	46,85
	05-1г	2,07	8,44	28,27	1,26	0,19	0,98	-	-	41,21
IV шар	06-1г	0,16	4,44	13,04	0,09	0,27	1,32	-	0,39	19,72
	07-1г	0,72	10,83	33,21	-	-	1,68	-	0,52	46,96
	08-1г	0,51	11,8	39,71	0,28	0,63	3,74	-	0,89	57,55
	09-1г	0,09	6,93	23,29	0,11	0,36	1,88	-	0,71	33,37
	10-1г	0,96	11,1	34,21	0,12	0,4	2,3	-	0,78	49,87
	11-1г	1,03	8,61	22,04	0,11	0,2	0,56	-	0,31	32,86

Висновки. Було проведено дослідження глин зі стінок Дашуківського кар'єру та порівняння мінерального складу продуктивних шарів родовища (ділянки, що експлуатується) з мінеральним складом глин з опорної свердловини, яка розкриває повний розріз відкладів боярської товщі, до якої і відносяться запаси та ресурси Черкаського бентонітоносного району.

В результаті порівняння встановлено, що склад проб з різних частин району досить подібний. Але є й відмінності. В першу чергу це стосується наявності чи відсутності палигорськіту в пробах. Наприклад, у пробі відібраній з III шару з опорної свердловини не було виявлено палигорськіт, а у пробі зі стінки кар'єру він присутній. В пробах з V шару опорної свердловини встановлено присутність палигорськіту на відміну від проб зі стінки кар'єру. Польовий шпат та кальцит також відсутні у одних пробах та присутні в інших. Монтморилоніт та кварц при дослідженні ідентифікуються без проблем та присутні у всіх пробах.

У зв'язку з встановленими відмінностями, які було визначено при порівнянні мінерального складу, буде доцільним продовжити подальші дослідження бентонітових глин Черкаського бентонітоносного району, зокрема III шару продуктивної товщі.

За результатами точкових аналізів оцінювалась однорідність хімічного складу монтморилоніту з II та IV шару свердловини 8504. Встановлено, що зерна монтморилоніту характеризуються морфологічною та хімічною однорідністю, та однорідним розподілом K_2O , Na_2O , CaO , MgO в частках монтморилоніту в межах кожного шару.

Проведене співставлення результатів досліджень відкладів боярської світи свідчить про її витриманий на величезній площі, понад 1000 км², мінеральний склад, що розширює можливості приросту запасів цього найкрупнішого в країні родовища бентонітових і палигорськітових глин.

Список використаної літератури

1. Коваленко Д. Н. Минералогический состав советских и некоторых зарубежных бентонитовых глин / Д. Н. Коваленко // Бентонитовые глины Украины: сб. статей. – К.: Изд-во АН УССР, 1960. – Сб. 4. – С. 47-55.
2. Куковский Е. Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов / Е. Г. Куковский. – К.: Наукова думка, 1966. – 128 с.
3. Мельников В. С. Рентгенофазовый анализ бентонитовых глин Черкаского родовища / В. С. Мельников, О. О. Андреева // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – № 1. – 2008. – С. 85-90.
4. Пояснювальна записка до державної геологічної карти масштабу 1:200 000. Центральньо-українська серія. Аркуші: М-36-ХІХ (Біла Церква), М-36-ХХV (Умань) [Текст] / Державна геологічна служба, Північне регіональне державне геологічне товариство "Північгеологія". – Київ, 2006. – Режим доступу: <http://geoinf.kiev.ua/derzhgeol карта200-pz-list-m36-25/#page/54>.
5. Стратиграфічне положення, вік, седиментаційні особливості та палеогеографія боярської товщі / В. Ю. Зосимович, А. М. Карпенко, О. А. Сіренко, Н. Н. Циба // Геол. журнал – 2006. – № 2-3. – С. 123-136.
6. Черкаское месторождение бентонитовых и палигорскитовых глин / Ф. Д. Овчаренко, Н. Г. Кириченко, А. Б. Островская, М. Г. Довгий – К.: Наукова думка, 1966. – 126 с.

References

1. Kovalenko D.N. (1960). Mineralogicheskyy sostav sovetskykh y nekotorykh zarubezhnykh bentonytovykh hlyn. In Bentonytove hlynny Ukrainy. Kyev: AN USSR, 4, 47-55. [in Russian].
2. Kukovskyy E.H. (1966). Osobennosti stroenyya y fizyko-khymykeskiye svoystva hlynystykh myneralov. Kyev: Naukova dumka, 128 p. [in Russian].
3. Melnykov V.S. Andreeva O.O. (2008). Renthenofazovyy analiz bentonitovykh hlyn Cherkaskoho rodovyshcha. Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI, 1, 85-90. [in Ukrainian].
4. Poiasniuvalna zapyska do derzhavnoi heolohichnoi karty masshtabu 1:200 000. Tsentralno-ukrainska seriia. Arkushi: M-36-XIX (Bila Tserkva), M-36-XXV (Uman) (2006). Retrieved from <http://geoinf.kiev.ua/derzhgeol карта200-pz-list-m36-25/#page/54> [in Ukrainian].
5. Zosymovych V.Yu., Karpenko A.M., Sirenko O.A., Tsyba N.N. (2006). Stratyhrafichne polozhennya, vik, sedymentsiyni osoblyvosti ta paleoheohrafiya boyars'koyi tovshchi [The stratigraphic position, age, sedimentary characteristics and palaeogeography Boyar thickness]. Geological journal, 2-3, 123-136. [in Ukrainian].
6. Ovcharenko F.D., Kyrychenko N.H., Ostrovskaia A.B., Dovhyi M.H. (1966). Cherkasskoe mestorozhdenye bentonytovykh y palyhorskytovykh hlyn. Kyev: Naukova dumka, 126 p. [in Russian].

Надійшла до редколегії 07.05.16

O. Andreeva, Cand. Sci. (Geol.), Research Assistant

E-mail: andreeva_ea@ukr.net;

V. Shunko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.

E-mail: shunko_v@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

O. Grechanovska, Cand. Sci. (Geol.), Research Assistant

E-mail: e.grechanovskaya@gmail.com

Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine

34 Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MINERAL COMPOSITION OF BENTONITE FROM CHERKASSY BENTONITIC AREA

The article discusses mineral composition of bentonites from the Cherkassy bentonitic area. The purpose of this work is to establish possible homogeneous and consistent nature of mineral composition of bentonites found throughout the area.

Bentonites of this area is stratigraphically related to the Boyarska suite of Miocene, which sediments are widely distributed here. Sediments of Dashukivka field of the Cherkassy deposit and those sampled from the drill-hole 8504 are considered to be a stratotype of Boyarska suite. The mineral composition of bentonites collected in open pit of Dashukivka field are compared with that of early studied bentonites sampled from the drill-hole 8504. It was established that the mineral composition of bentonites is rather homogeneous, but there are some differences between samples. The single particles of montmorillonites (drill-hole 8504) are studied with using electron-probe analysis to determine homogeneity of chemical composition of clay sediments with using electron-probe analysis. By the results of point analyses chemical composition of montmorillonite is established to be homogeneous.

The results of comparative studies of clay minerals testifies for very homogeneous nature of mineral composition of the Boyarska suite sediments. This fact gives opportunities to increase reserves of bentonites and palygorskites of the Cherkassy deposit.

Keywords: bentonite clays, mineral composition, Boyarska suite, Cherkassy deposit.

Е. Андреева, канд. геол. наук, научн. сотруд.

E-mail: andreeva_ea@ukr.net;

В. Шунко, канд. геол.-мин. наук, доц.

E-mail: shunko_v@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

Е. Гречановская, канд. геол. наук, научн. сотруд.

E-mail: e.grechanovskaya@gmail.com

Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. М.П. Семененка НАН Украины

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ЧЕРКАССКОГО БЕНТОНИТОНОСНОГО РАЙОНА

В статье рассматриваются результаты исследования минерального состава бентонитовых глин Черкасского бентонитоносного района. Цель работы – установить однородность и выдержанность минерального состава бентонитов района.

Стратиграфически бентонитовые глины Черкасского бентонитоносного района относятся к боярской свите миоцена. Территория распространения этих отложений очень значительна. Стратотипом боярских отложений считают Дашуковский участок Черкасского месторождения и скважину 8504. В работе исследовались бентонитовые глины из карьера Дашуковского участка и сравнивались с результатами предыдущих исследований бентонитов из скважины 8504. Установлено, что минеральный состав образцов весьма однороден, но существуют некоторые отличия. С помощью электронно-зондового микроанализа определялся химический состав отдельных частиц монтмориллонита для оценки однородности вещественного состава глинистого сырья (скважина 8504). Установлено, что химический состав монтмориллонитов за результатами точечных анализов однородный.

Проведенное сопоставление результатов исследований глинистых минералов боярской свиты свидетельствует о ее весьма однородном минеральном составе. Это расширяет возможности наращивания запасов Черкасского месторождения бентонитовых и палыгорскитовых глин.

Ключевые слова: бентонитовые глины, минеральный состав, боярская свита, Черкасское месторождение.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vsa@univ.kiev.ua;В. Онищук, канд. геол. наук, асист.
E-mail: vitus16@ukr.net;М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.
E-mail: mvreva@gmail.com;І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: oiivan1@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна**ТЕХНОЛОГІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЧАСОВИХ ЗМІН
ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. І.М. Корчагіним)

У статті розглядаються особливості методики петроелектричних досліджень гірських порід, яка застосовується в лабораторії петрофізики ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Наведені та проаналізовані результати виконаних експериментальних досліджень часових змін електричного опору екстрагованих зразків гірських порід і потенціалів викликаного поляризації (ВП) зразків порід, насичених моделлю пластової рідини. У результаті дослідних робіт удосконалена й застосована нестандартна методика лабораторних досліджень для визначення електричних властивостей гірських порід. Розроблена технологія лабораторних досліджень на постійному струмі часових змін електричних параметрів екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків осадових гірських порід з використанням цифрових тераомметра С.А. 6547 та мультиметра UT-70В. Виконані експериментальні дослідження за розробленою технологією. З метою з'ясування можливості використання зареєстрованих нестаціонарних процесів для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід розроблена оригінальна методика обробки й аналізу результатів лабораторних цифрових записів часових змін електричного опору сухих та потенціалів ВП насичених розчином зразків порід. Розроблена методика базується на використанні двох параметрів поляризації – поляризованості (η) та "швидкості поляризації" ($V_{\text{ВП}}$), що представляє собою похідну від поляризованості й характеризує швидкість зміни поляризованості в часі. Швидкість поляризації є петроелектричним параметром, який раніше практично не використовувався при лабораторних петрофізичних дослідженнях. Аналіз результатів виконаних лабораторних вимірювань показав, що цей параметр має більш стійкі кореляційні зв'язки з фізико-хімічними властивостями порід, ніж поляризованість, а отже в комплексі з поляризованістю може використовуватися для побудови комплексних петроелектричних моделей.

Ключові слова: порода, петрофізичний параметр, петрофізичні дослідження, фізичні властивості, електричний опір, поляризованість, швидкість поляризації.

Вступ. Лабораторні петрофізичні дослідження пов'язані із проведенням вимірювань фізичних параметрів на зразках гірських порід. Метою комплексних петрофізичних досліджень є отримання максимально повної інформації про фізичні властивості гірських порід як основи для подальшого вибору комплексу методів та методики інтерпретації. Особливе місце в комплексі петрофізичних досліджень займають петроелектричні, що пов'язано з наявністю кореляційних зв'язків електромагнітних властивостей з петрофізичними параметрами гірських утворень. Результати лабораторних петроелектричних досліджень використовуються при інтерпретації даних як свердловинної електрометрії (електрокаротажу), так і польової електророзвідки. Зокрема, при виконанні петрофізичних досліджень значна увага дослідників приділялася вивченню перехідних процесів електрохімічного походження з метою встановлення факторів, які б дозволяли виконувати геологічне тлумачення природи аномалій полів викликаного поляризації (ВП). У більшості такі процеси вивчалися в гірських породах із наявними в них електропровідними мінералами для вирішення задач рудної електрометрії [4, 5, 11]. Цікавими є давні роботи [14, 15], спрямовані на встановлення зв'язку процесів викликаного поляризації з якісним складом вугілля. Також досліджувалися процеси ВП в іонопровідних породах з метою встановлення, перш за все, природи цих процесів та використання їх особливостей для вирішення задач промислової геофізики [6, 8, 13, 16].

У лабораторії петрофізики кафедри геофізики Навчально-наукового інституту "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка виконуються експериментальні петроелектричні дослідження, в комплексі з іншими методами петрофізики та

методами якісного й кількісного аналізу мінерального складу гірських порід, з метою не тільки використання петроелектричних параметрів для визначення фільтраційно-ємнісних характеристик порід [12], а й можливого використання цих параметрів для прогнозування фізико-хімічних властивостей порід. Такі дослідження виконуються на сучасній технічній базі, що вимагає вдосконалення існуючих та розробку нових методик лабораторних електрометричних досліджень.

Важливою складовою методики петроелектричних досліджень є обробка результатів вимірювань, аналіз експериментальних даних та трактування одержаних залежностей [1-3, 10]. Безперечно, що досліджувані петрофізичні параметри відносяться до класу випадкових величин, а тому зв'язок між ними має стохастичний (ймовірнісний) характер. У зв'язку із цим для отримання уявлень про математичні моделі досліджуваних явищ (процесів), які виражаються відповідними рівняннями, під час обробки експериментальних даних застосовують методи кореляційно-регресійного аналізу. Результати кореляційного аналізу є вихідним матеріалом для отримання емпіричних формул – рівнянь регресії, що власне й виражають собою математичні моделі.

Практична задача кореляції фізичних властивостей порід за результатами лабораторних вимірювань вирішується на основі встановлення стохастичного зв'язку між цими властивостями. Такий зв'язок визначається за допомогою графіка кореляційної залежності вимірюваних параметрів або кореляційної таблиці. Графік залежності $y=f(x)$ з прийнятною нев'язкою точок дає можливість визначити математичну форму функції зв'язку. Рівняння цієї функції є рівнянням зв'язку між шуканою та вимірюваною ознаками. При цьому слід застосовувати таку функцію, яка б давала найменше відхилен-

ня теоретичних від експериментально визначених при лабораторних дослідженнях точок.

Найбільш широко вживаним методом знаходження рівняння зв'язку параметрів X та y є метод найменших квадратів (МНК) [1, 2]. Цей метод посідає виняткове місце серед методів математичної статистики, що застосовуються в процесі аналізу даних петрофізичних досліджень. Задачею МНК є оцінка закономірності, яка спостерігається на фоні випадкових коливань вимірюваної величини, та використання встановленої закономірності для подальших розрахунків, зокрема для прогнозів та параметричної оцінки *функції регресії*. Окрім того, за допомогою МНК визначають концепцію й методологію розв'язання оберненої задачі геофізики.

У даній роботі увага приділена вивченню часових змін електричного опору зразків порід при пропусканні через них постійного електричного струму. Цей ефект був виявлений у процесі рядових петроелектричних досліджень не тільки насичених розчинами зразків порід, а й екстрагованих, і потребував вивчення з метою встановлення зв'язку характеру часових змін з фізико-хімічними властивостями порід, а також з метою дослідження можливості його використання для побудови комплексних петроелектричних моделей. У статті наведені методика петроелектричних досліджень, алгоритми аналізу отриманих експериментальних вимірів, що ґрунтуються на використанні методів статисти-

чного аналізу та результати досліджень, проведених на їх основі.

Експериментальні дослідження. З метою вивчення процесів поляризації та можливості використання їх параметрів для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід розроблена оригінальна схема обробки цифрових записів зміни електричного опору з часом, отриманих у результаті лабораторних вимірювань. При цьому визначались два параметри поляризації: поляризованість η та "швидкість поляризації" $V_{\text{ВП}}$, що являє собою похідну від поляризованості і характеризує швидкість зміни поляризованості η – зміну поляризованості за 1 секунду (одиниця вимірювання – %/с (відсоток/секунду)). Слід відзначити, що це петроелектричний параметр, на який раніше мало звертали уваги при лабораторних петрофізичних дослідженнях. Аналіз отриманих в лабораторії петрофізики даних показав, що він має більш стійкі кореляційні зв'язки з фізико-хімічними властивостями порід, ніж поляризованість, відтак може використовуватися для побудови комплексних петроелектричних моделей.

Для визначень електричного опору на постійному струмі був розроблений лабораторний вимірювальний комплекс, складовими частинами якого є: спеціальний кернотримач, цифровий тераомметр С.А. 6547 та ЕОМ (рис. 1).

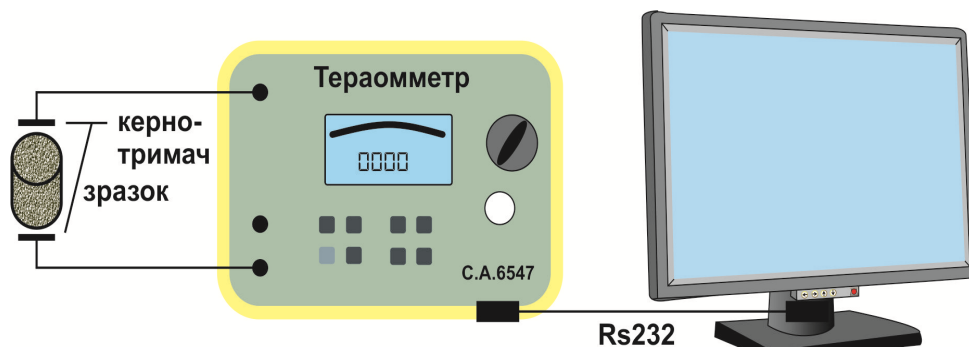


Рис.1. Схема вимірювання електричного опору сухих зразків керну

Під час лабораторних петроелектричних досліджень сухих (високоомних) зразків порід розробленим вимірювальним комплексом на постійному струмі була встановлена зміна їх електричного опору з часом. Очевидно, що нестаціонарність опору викликана процесами поляризації, які виникають у зразках порід при пропусканні через них електричного струму. Також зрозуміло, що зміна опору в часі може бути інформативним параметром, а відтак доцільним є вивчення особливостей часових змін електричного опору зразків порід з метою з'ясування можливості їх використання для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід.

Технологія досліджень нестаціонарного процесу у сухих зразках полягала в наступному. Циліндричний зразок вставлявся в спеціальний кернотримач. За допомогою цифрового тераомметра С.А. 6547 реєструвався електричний опір зразка із записом в ЕОМ за спеціальною програмою Data Viewer Professional з інтервалом 5 с. У результаті досліdnих лабораторних робіт визначено оптимальний час запису кривої зміни електричного опору, що складає 120÷180 с. Типовий вид кривої зміни електричного опору з часом наведений на рис 2.

Для аналізу часових змін електричного опору був розроблений і застосований алгоритм обробки даних експериментальних вимірювань сухих зразків гірських порід, суть якого полягає в наступному:

1. Виконувалося функціональне згладжування кривої опору $R(t)$ за допомогою поліномів другого ($R(t)=at^2+bt+c$) або третього ($R(t)=at^3+bt^2+ct+d$) порядків у середовищі програм Excel або Statistica.

2. Визначалася поляризованість $\eta(t)$ та швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}(t)$ зразка породи як функції часу. Для різних видів апроксимації формули розрахунку цих параметрів мають вигляд:

а) у разі апроксимації кривої опору $R(t)$ поліномом другого порядку

$$\eta(t) = 100 \cdot \left[1 - \frac{R(0)}{R(t)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{c}{at^2 + bt + c} \right], \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{R(0) \cdot (dR/dt)}{[R(t)]^2} = 100 \cdot \frac{c \cdot (2at + b)}{(at^2 + bt + c)^2}, \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b, c – коефіцієнти полінома, t – час;

б) у разі апроксимації кривої опору поліномом третього порядку

$$\eta(t) = 100 \cdot \left[1 - \frac{R(0)}{R(t)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{d}{at^3 + bt^2 + ct + d} \right], \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{R(0) \cdot (dR/dt)}{[R(t)]^2} =$$

$$= 100 \cdot \frac{d \cdot (3at^2 + 2bt + c)}{(at^3 + bt^2 + ct + d)^2}, \%,$$

де a, b, c, d – коефіцієнти полінома, t – час.

3. Виконувалася побудова графіків залежностей поляризованості і швидкості поляризації від часу та їх якісний і кількісний аналіз.

4. Встановлювалися кореляційні залежності між параметрами поляризації екстрагованих порід і вмістом основних петрогенних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Було встановлено, що ці залежності апроксимуються лінійними функціями типу

$V_{\text{ВП}} = aC_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст петрогенних окислів у %; a і b – коефіцієнти рівняння.

Для дослідження поляризаційних ефектів у породах, насичених моделлю пластової води, була розроблена інша модифікація вимірювального комплексу, що складається із спеціального кернотримача, електровозбудувального генератора ЕРП-1, цифрового мультиметра UT-70В та ЕОМ (рис. 3). Необхідність такої модифікації вимірювального комплексу зумовлена тим, що цифровий тераомметр С.А. 6547 має нижню межу діапазону вимірювання електричного опору 30 кОм, що значно вище електричного опору зразків гірських порід, насичених моделлю пластової води.

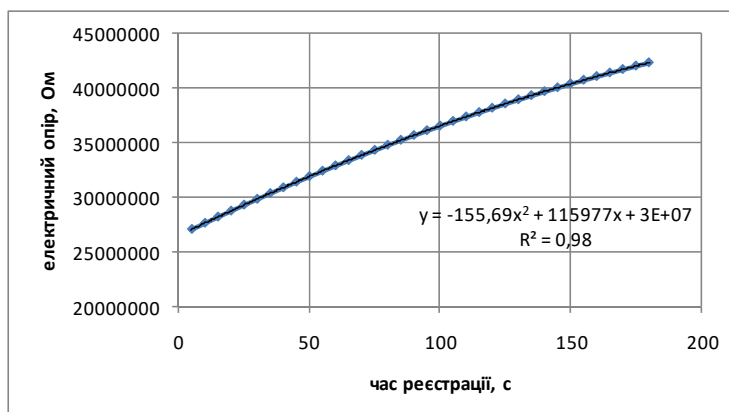


Рис. 2. Типова крива зміни електричного опору зразка сухого пісковика з часом. Зростання опору апроксимується поліномом 2-го порядку

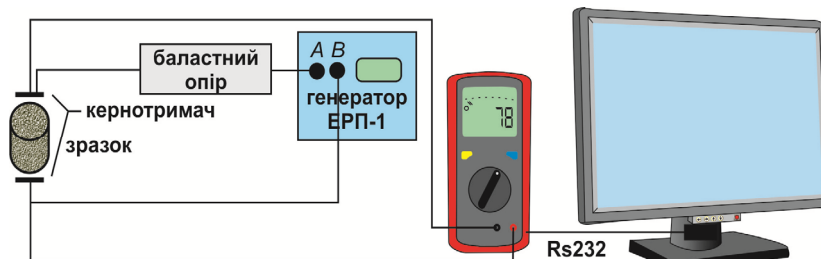


Рис. 3. Схема вимірювань зміни різниці потенціалів на зразках гірських порід, насичених моделлю пластової води

Технологія досліджень зразків за даною модифікацією вимірювального комплексу дещо відмінна від дослідження сухих зразків і полягає в наступному. Після фіксації зразка у спеціальному кернотримачі за допомогою цифрового мультиметра UT-70В впродовж 10–15 с реєструється різниця потенціалів на зразку (потенціал власної поляризації) із записом на ЕОМ за спеціальною програмою UNI-T з дискретизацією 1 с. Після запису різниці потенціалів власної поляризації, вмикається

генератор ЕРП-1 в режимі постійного стабілізованого струму силою від 1 до 10 мА й впродовж 120 с реєструється різниця потенціалів "пропускання" (або "зарядки") U_3 . Після чого генератор вимикається і на протязі 90–120 с реєструється різниця потенціалів "спаду" (або розрядки) $U_{\text{ВП}}$. Типова форма запису кривої зміни різниці потенціалів на зразку, насиченому моделлю пластової води, наведена на рис. 4.

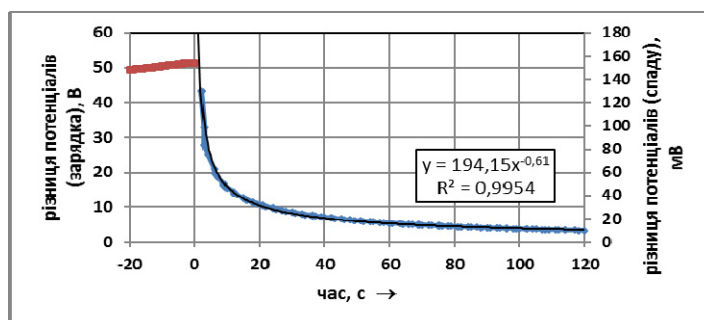


Рис. 4. Типова крива зміни різниці потенціалів з часом на зразку породи, насиченої моделлю пластової води. Спад різниці потенціалів поляризації апроксимується степеневою функцією

У результаті експериментальних досліджень зміни різниці потенціалів з часом на зразках порід, насичених моделлю пластової води, вивчено процес їх поляризації та оцінені можливості використання цього процесу для аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей гірських порід. З цією метою розроблена оригінальна схема обробки цифрових записів часових змін різниці потенціалів, отриманих у результаті лабораторних вимірювань. Алгоритм цієї обробки наступний.

1. Записана крива спаду різниці потенціалів викликаной поляризації $U_{\text{ВП}}(t)$ функціонально згладжувалася за допомогою степеневої ($U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot t^b$) або логарифмічної ($U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot \ln t + b$) функцій в середовищі програм Excel або Statistica.

2. Поляризованість $\eta(t)$ та швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}(t)$ зразка породи, як функції часу, для різних видів апроксимації визначалися за такими розрахунковими формулами:

а) у випадку апроксимації кривої спаду різниці потенціалів викликаной поляризації степеневою функцією $U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot t^b$

$$\eta(t) = 100 \cdot \frac{U_{\text{ВП}}(t)}{U_3} = 100 \cdot \frac{a \cdot t^b}{U_3}, \quad \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{a \cdot b \cdot t^{b-1}}{U_3}, \quad \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b – коефіцієнти степеневої функції, t – час, U_3 – різниця потенціалів зарядки, $U_{\text{ВП}}$ – різниця потенціалів викликаной поляризації;

б) у випадку апроксимації кривої спаду різниці потенціалів викликаной поляризації логарифмічною функцією $U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot \ln t + b$

$$\eta(t) = 100 \cdot \frac{U_{\text{ВП}}(t)}{U_3} = 100 \cdot \frac{a \cdot \ln t + b}{U_3}, \quad \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{a}{t \cdot U_3}, \quad \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b – коефіцієнти логарифмічної функції, t – час, U_3 – різниця потенціалів зарядки, $U_{\text{ВП}}$ – різниця потенціалів викликаной поляризації.

3. Виконувалася побудова графіків зміни поляризованості й швидкості поляризації від часу та їх якісний і кількісний аналіз.

4. Встановлювалися кореляційні залежності між параметрами поляризації порід, насичених моделлю пластової води, і вмістом основних петрогенних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Кореляційні залежності, як і у випадку із сухими зразками, апроксимувалися лінійними функціями типу $V_{\text{ВП}} = a C_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст петрогенних окислів у %; a і b – коефіцієнти рівняння.

На кінцевому етапі камеральної обробки всієї сукупності матеріалів петрофізичних досліджень між петроелектричними, фільтраційно-ємнісними та фізико-хімічними параметрами порід встановлюються кореляційні зв'язки з використанням методів парної і множинної кореляції. Кореляційний аналіз виконується з метою обґрунтування часткової заміни фільтраційно-ємнісних та інших фізико-хімічних параметрів порід петроелектричними, що є основою геологічної інтерпретації даних електрометричних методів ГДС [7, 9].

З метою вивчення параметрів викликаной поляризації та можливості їх застосування для аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей порід-колекторів в лабораторії петрофізики за розробленою методикою ви-

конані експериментальні лабораторні електрометричні дослідження колекції зразків Добротвірської, Лудинської та Володимирської площ Волино-Поділля. Площі розташовані у північній частині Львівського палеозойського прогину і є перспективними на наявність вуглеводородоносних порід. Дослідним шляхом визначалися й аналізувалися два параметри викликаной поляризації – поляризованість η і швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}$ сухих та насичених моделлю пластової води (розчин NaCl) пісковиків, вапняків і доломітів. Зупинимося на аналізі встановлених кореляційних зв'язків вмісту основних породотвірних окислів цих порід із швидкістю поляризації $V_{\text{ВП}}$. Цей параметр рідко використовується при лабораторних петроелектричних дослідженнях, але, як виявилося, є інформативним стосовно можливості прогнозування фізико-хімічних властивостей порід.

У результаті інтерпретації комплексних петрофізичних даних та їх статистичного аналізу встановлені кореляційні зв'язки між швидкістю поляризації сухих і насичених порід та вмістом таких основних породотвірних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Вміст відмічених окислів у зразках визначався за результатами хімічного й флуоресцентного аналізів. У результаті встановлено, що кореляційні залежності достатньо якісно апроксимуються лінійною функцією типу $V_{\text{ВП}} = a C_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст відповідних окислів у відсотках. Для прикладу на рис. 5 наведені кореляційні залежності для вапняків Добротвірської площі. Встановлено, що швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}$ як сухих, так і насичених вапняків має пряму функціональну залежність від вмісту SiO_2 , CaO та $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$, а від вмісту MgO – обернену. Коефіцієнти кореляції R^2 цих залежностей достатньо високі і змінюються від 0,78 до 0,95. Характерною особливістю встановлених залежностей є те, що в насичених зразках швидкість поляризації найменш на порядок вища, ніж у сухих зразках, а вміст окислів – більш суттєво впливає на її зміну. Відтак, встановлені кореляційні залежності можуть бути використані для попередньої оцінки вмісту вказаних окислів у вапняках Добротвірської площі за результатами лабораторних вимірів поляризованості та швидкості поляризації.

Цікавий результат отриманий для доломітів Володимирської площі. Загальний кореляційний зв'язок швидкості поляризації з вмістом окислів аналогічний вапнякам Добротвірської площі, але тут $V_{\text{ВП}}$ у сухих зразках приблизно вдвоє вища, ніж у насичених зразках. Остання закономірність характерна для доломітів і пісковиків Лудинської площі, але тут є свої особливості, а саме: для суми окислів $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$ у доломітах швидкість поляризації має обернену залежність на відміну від вапняків Добротвірської площі; крім цього, для пісковиків залежність $V_{\text{ВП}}$ від вмісту SiO_2 також обернена, а від вмісту MgO – пряма (рис. 6).

Цікавий результат отриманий і при лабораторних дослідженнях вапняків Володимирської площі. Для одержаних кореляційних залежностей характерним є те, що рівень значень швидкості поляризації як для сухих, так і насичених моделлю пластової води зразків практично однаковий, а кореляційні залежності досить близькі. Окрім того у вапняках цієї площі спостерігається обернена залежність $V_{\text{ВП}}$ від вмісту CaO (рис. 7) на відміну від порід Добротвірської та Лудинської площ, де ці залежності прямі.

Отже, результати лабораторних вимірів швидкості поляризації гірських порід у постійному електричному полі свідчать про наявність відмінностей цього параметра навіть у породах однакового класу, що дає можливість використання цієї інформативної характеристики процесу поляризації для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід, вирішення задач класифікації порід та створення комплексних петроелектричних моделей у межах перспективних на вуглеводні площі.

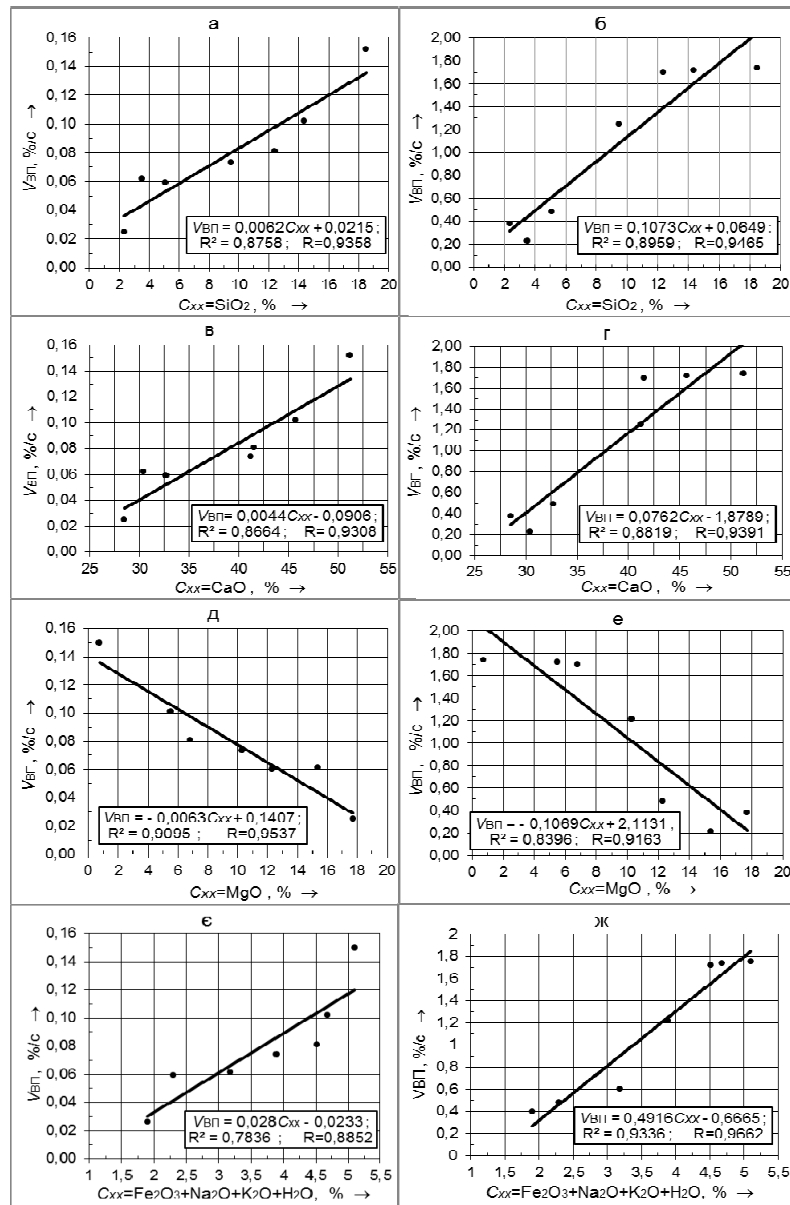


Рис. 5. Кореляційні залежності швидкості поляризації $V_{лп}$ сухих (а, в, д, з) та насичених (б, г, ж) вапняків Добровірської площі від вмісту SiO_2 (а, б), CaO (в, г), MgO (д, е), $\Sigma(Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O + H_2O)$ (з, ж)

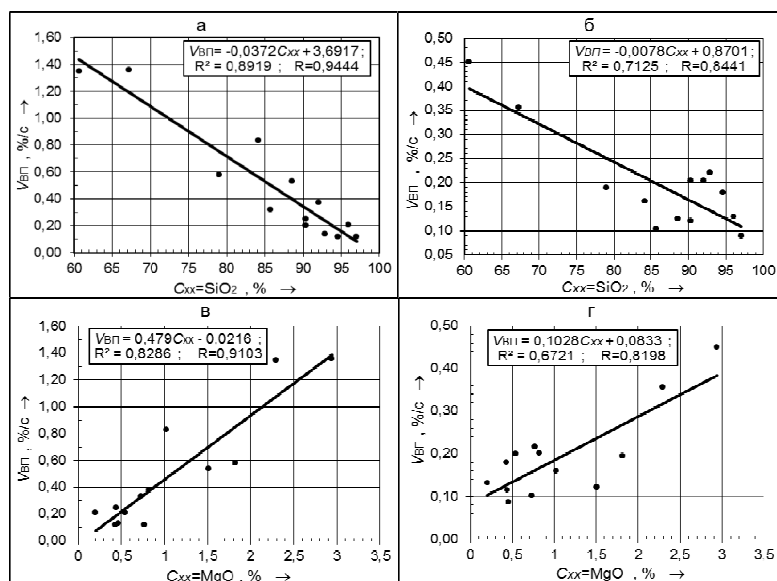


Рис.6. Кореляційні залежності швидкості поляризації $V_{лп}$ сухих (а, в) та насичених (б, г) пісковиків Лудинської площі від вмісту SiO_2 (а, б) й MgO (в, г)

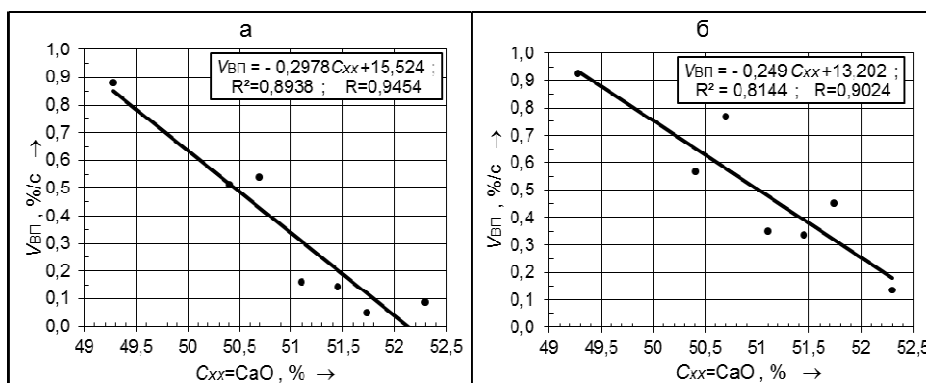


Рис.7. Кореляційні залежності швидкості поляризації V_{bp} сухих (а) та насичених (б) вапняків Володимирської площі від вмісту CaO

Висновки. У результаті дослідних лабораторних робіт удосконалена й застосована нестандартна методика лабораторних досліджень для визначення електричних властивостей гірських порід. Розроблена технологія лабораторних досліджень часових змін петроелектричних параметрів екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків гірських порід на постійному струмі за допомогою цифрових тераомметра С.А. 6547 та мультиметра UT-70В. Запропонована оригінальна схема обробки цифрових записів змін з часом електричного опору екстрагованих зразків та різниці потенціалів порід, насичених моделлю пластової води, шляхом функціонального згладжування. Показана висока інформативність параметра швидкості поляризації для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід, вирішення задач класифікації порід та створення комплексних петроелектричних моделей у межах перспективних на вуглеводні площі.

Список використаних джерел

1. Жуков Н. Н. Вероятностно-статистические методы анализа геолого-геофизической информации / Н. Н. Жуков. — К.: Вища школа, 1975. — 303 с.
2. Жуков М. Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник. / М. Н. Жуков. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. — 518 с.
3. Кобранова В. Н. Петрофизика: учебник. / В. Н. Кобранова. — М.: Недра, 1986. — 392 с.
4. Комаров В. В. Временные характеристики вызванной поляризации / В. А. Комаров // Методика и техника разведки, 1965. — № 45. — С. 18-23.
5. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации / В. А. Комаров. — Л.: Недра, 1980 — 391 с.
6. Кормильцев В. В. О возбуждении и спаде вызванной поляризации в капиллярной среде / В. В. Кормильцев // Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая. — 1963. — №11. — с. 1658-1666.
7. Кормильцев В. В. Переходные процессы при вызванной поляризации / В. В. Кормильцев. — М.: Недра, 1980. — 112 с.
8. Кормильцев В. В. Электрокинетические явления в пористых горных породах / В. В. Кормильцев. — Екатеринбург, 1995. — 48 с.
9. Курганский В. М. Электричні та електромагнітні методи дослідження свердловин / В. М. Курганський, І. В. Тішаєв. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. — 175 с.
10. Математичні методи в нафтогазовій геології / О. Є. Лозинський, В. О. Лозинський, Б. Й. Маєвський В. В. та інш. — Ів.-Фр.: Факел, 2008. — 276 с.
11. Нечаева Г. П. Результаты изучения временных характеристик вызванной поляризации / Г. П. Нечаева // Вестник МГУ. Геология. — 1966. — №5. — С. 6-9.
12. Онищук Д. И. Комплексные петроэлектрические модели доломитов девона и песчаников кембрия Лудинской площади Вольно-Подолья / Д. И. Онищук, В. С. Портнов, Н. В. Рева, В. И. Онищук // Труды Карагандинского университета. — 2013. — № 4 (53). — С. 47-51.
13. Постельников А. Ф. К вопросу о природе вызванной поляризации в осадочных горных породах / Ф. А. Постельников // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1959. — № 2. — с. 126-136.
14. Сергатыук А. К. Викликана поляризація викопного вугілля / А. К. Сергатыук // Изд-во АН УССР, 1963. — 125 с.
15. Сергатыук А. К. Про залежність між викликаними потенціалами і якісним складом вугілля / А. К. Сергатыук // ДАН УРСР. — 1967. — № 2. — С. 26-31.
16. Титов К. В. Временные характеристики вызванной поляризации в водонасыщенных песках: теория и эксперименты / К. В. Титов, В. А. Тарасов // Геология и геофизика. — 2001. — т. 42. — № 6. — с. 988-995.

References

1. Zhukov N. N. (1975). Veroyatnostno-statisticheskie metody analiza geologo-geofizicheskoy informatsiyi. Kyev: Vyscha shkola. Izd-vo pri Kiev. un-te, 303 p. [in Russian].
2. Zhukov M. N. (2008). Matematychna statystyka ta obrobka geologichnykh danykh: pidruchnyk. Kyiv: VPTC "Kyivskyi universytet", 518 p. [in Ukrainian].
3. Kobranova V. N. (1986). Petrofizika. Uchebnik. Moscow: Nedra, 392 p. [in Russian].
4. Komarov V. A. (1965). Vremennye kharakteristiki vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Metodika i tekhnika razvedki, 45, 18-23. [in Russian].
5. Komarov V. A. (1980). Elektrorazvedka metodom vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Moscow: Nedra, 391 p. [in Russian].
6. Kormyltsev V. V. (1963). O vzbuzhdeniyi i spade vyzvannoy pol-yaryzatsiyi v kapillyarnoy srede. Izv. AN SSSR. Ser. Geofizicheskaya, 11, 1658-1666. [in Russian].
7. Kormyltsev V. V. (1980). Perekhodnye protsessy pri vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Moscow: Nedra, 112 p.
8. Kormyltsev V. V. (1995). Elektrokineticheskie yavleniya v poristyykh gornyykh porodakh. Ekaterinburg, 48 p. [in Russian].
9. Kurganskyy V. N., Tishaev I. V. (2011). Elektrichni ta elektromagnitni metody doslidzhennya sverdlavyn. Kyiv: VPTS "Kyivskyi universytet", 175 p. [in Ukrainian].
10. Lozynskyy O. E., Lozynskyy V. O., Maevskyy B. Y., Gladun V. V., Chepil P. M. (2008). Matematychni metody v naftogazoviyi geologii. Iv.-Fr.: Fakel, 276 p. [in Ukrainian].
11. Nechaeva G. P. (1966). Rezultaty izucheniya vremennykh kharakteristik vyzvannoy polaryzatsiyi. Vestnik MGU. Geologiya, 5, 6-9. [in Russian].
12. Onischuk D. I., Portnov V. S., Reva N. V., Onischuk V. I. (2013). Kompleksnye petroelektricheskiye modeli dolomitov devona i peschanikov kembriya Ludinskoy ploschady Volyno-Podoliyi. Trudy Karagandinskogo universiteta, 4(53), 47-51. [in Russian].
13. Postelnikov A. F. (1959). K voprosu o prirode vyzvannoy polaryzatsiyi v osadochnyykh gornyykh porodakh. Izv. vuzov. Geologiya i razvedka, 2, 126-136. [in Russian].
14. Sergatyuk A. K. (1963). Vykykana polaryzatsiya vykopnogo vugillya. Izd-vo AN USSR, 125 p. [in Ukrainian].
15. Sergatyuk A. K. (1967). Pro zalezhnist mizh vykykanymy potentsialamy i yakysnym skladom vugillya. DAN URSR, 2, 26-31. [in Ukrainian].
16. Tytov K. V., Tarasov V. A. (2001). Vremennye kharakteristiki vyzvannoy polaryzatsiyi v vodonasasyshennykh peskakh: teoriya i eksperymenty. Geologiya i geofizika, 42, 6, 988-995. [in Russian].

Надійшла до редколегії 13.05.16

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

E-mail: vsa@univ.kiev.ua;

V. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.), Associate professor

E-mail: vitus16@ukr.net;

M. Reva, Cand. Sci. (Phys.-math.), Associate professor

E-mail: mvreva@gmail.com;

I. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.), Head of Laboratory

E-mail: oivan1@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

TECHNOLOGY OF LABORATORY INVESTIGATIONS OF TEMPORARY CHANGES PYROELECTRIC PARAMETERS OF ROCKS

The article discusses the features of methods of petroelectrical investigations in rocks used at the laboratory of theoretical and applied geophysics of ESI "Institute of Geology", Taras Shevchenko National University of Kyiv. The authors have also presented the results of experimental investigations of the electrical resistance fluctuations of extracted rock samples in time as well as the induced polarization potentials (IP) of rock samples saturated by solution. As a result of pilot laboratory works improved non-standard method of laboratory tests has applied to determine electrical properties of rocks. The technology of laboratory researches of fluctuations of petroelectrical parameters at direct current in time of rock samples extracted and saturated by model of reservoir water is developed with using digital megohmmeter C.A. 6547 and multimeter UT-70B. To assess the possibility in using the recorded non-stationary processes at determination of the physical and chemical properties of rocks novel methods of processing and analysis of results of laboratory digital records of temporal fluctuations of the electrical resistance of dry rock samples and induced polarization potentials of rock samples saturated by solution is developed. The developed method is based on usage of two parameters of polarization – polarizability and polarization rate. Polarization rate is the derivative of polarizability. It characterizes the rate of changes of the polarizability in time (unit of measurement – percentage / a second). The polarization rate is a petroelectrical parameter rarely used in laboratory petrophysical researches before. According to the results of laboratory measurements, the polarization rate has more stable correlation with physical and chemical properties of rocks than their polarizability. Thus, the polarization rate in combination with polarizability could be used to build complex petroelectrical models.

Keywords: rock, petrophysical researches, physical properties, electrical resistance, polarizability, polarization rate, petroelectrical parameter.

С. Выхва, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vsa@univ.kiev.ua;

В. Онищук, канд. геол. наук, ассист.

E-mail: vitus16@ukr.net;

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: mvreva@gmail.com;

И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., зав. НДЛ

E-mail: oivan1@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ПОРОД

В статье рассматриваются особенности методики петроэлектрических исследований горных пород, используемой в лаборатории петрофизики УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Приведены и проанализированы результаты выполненных экспериментальных исследований изменений во времени электрического сопротивления экстрагированных образцов горных пород и потенциалов вызванной поляризации (ВП) образцов пород, насыщенных раствором. В результате исследовательских работ усовершенствована и применена нестандартная методика лабораторных определений электрических свойств горных пород. Разработана технология лабораторных исследований на постоянном токе временных изменений петроэлектрических параметров экстрагированных и насыщенных моделью пластовой воды образцов горных пород с использованием цифровых тераомметра C.A. 6547 и мультиметра UT-70B и выполнены экспериментальные измерения по разработанной технологии. С целью выяснения возможности использования регистрируемых нестационарных процессов для определения физико-химических свойств горных пород разработана оригинальная методика обработки и анализа результатов лабораторных цифровых записей временных изменений электрического сопротивления сухих и потенциалов ВП насыщенных раствором образцов горных пород. Разработанная методика основана на использовании двух параметров поляризации – поляризуемости (η) и "скорости поляризации" ($V_{ВП}$), которая представляет собой производную от поляризуемости и характеризует скорость изменения поляризуемости во времени. Скорость поляризации является петроэлектрическим параметром, который раньше практически не использовался при лабораторных петрофизических исследованиях. Анализ результатов выполненных лабораторных измерений показал, что этот параметр имеет более устойчивые корреляционные связи с физико-химическими свойствами пород, чем поляризуемость, а поэтому в комплексе с поляризуемостью может использоваться для построения комплексных петроэлектрических моделей.

Ключевые слова: порода, петрофизические исследования, петроэлектрический параметр, физические свойства, электрическое сопротивление, поляризуемость, скорость поляризации.

УДК 550.834

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: bezin3@ukr.net;Д. Безродний, канд. геол. наук, доц.
E-mail: manific2@ukr.net;Р. Голяка, студ.
E-mail: holyaka_roman@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ТА ПОРИСТОСТІ НА ПАРАМЕТРИ ПРУЖНОЇ АНІЗОТРОПІЇ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

*Мета роботи – аналіз параметрів пружної і акустичної анізотропії при дослідженні багатокомпонентної моделі теригенної породи-колектора.**За результатами математичного моделювання складнобудованих пісковиків були визначені та проаналізовані параметри акустичної і пружної анізотропії розроблених моделей в залежності від літології, концентрації і типу включень. Для вирішення поставленої задачі використовувалися методи умовних моментних функцій з використанням розрахункової схеми Морі-Танака і метод найменших квадратів. В основу моделей взяті попередні публікації авторів і результати петрографічних досліджень в ННІ "Інститут геології".**Переважають більшість моделей складнобудованих порід-колекторів характерний ромбічно аксіальний тип симетрії текстури. Сланцюватий мотив текстури притаманний для моделей чистого кварцового пісковика і для пісковика з включеннями глинистого цементу.**В результаті збільшення концентрації пористості густина моделей зменшується. При включенні монтморилоніту її значення стає менше. Луски мусковіту і зерна кальциту в мінеральному складі породи збільшують величину густини з підвищенням концентрації останнього, однак при включенні глинистого мінералу густина зменшується, але вже в незначних межах.**Встановлено, що розроблені моделі характеризуються як слабо-, середньо- і високоанізотропні: зі збільшенням концентрації пористості коефіцієнт інтегральної акустичної анізотропії зменшується в межах десятків відсотків, різке його зменшення (на 3 %) спостерігається з включеннями монтморилоніту. У моделях з мінералами кварцу, кальциту, слюди спостерігається при концентраціях зерен кальциту 1 – 10 % зменшення коефіцієнта акустичної анізотропії, а в межах 10 – 20 % – поступове його збільшення. Зі збільшенням формату тріщин величина інтегрального коефіцієнта анізотропії переважно росте в межах 0,5 – 0,7 %.**Простежено поступове зменшення обчислених значень ефективних пружних постійних з підвищенням концентрації пористості, і навпаки, збільшення їх величин при включенні мінералів. Найбільш істотно ці зміни спостерігаються в значеннях недиагональних компонентів.**За результатами проведеного моделювання були визначені та описані акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу і концентрації включень, які були представлені мінералами (монтморилоніт, кальцит і мусковіт) і пористостями різних форматів.**Ключові слова: математичне моделювання, пружна анізотропія, складнобудовані пісковики.*

Вступ. З кожним роком у геологічній науці все більше зростає інтерес до математичного моделювання геологічного середовища. Велика роль належить дослідженню ефективних акустичних і пружних властивостей складнобудованих порід-колекторів, а саме вивченню акустичної і пружної анізотропії, що дозволяє застосовувати фізико-математичні методи теорії пружних деформацій для характеристики досліджуваних зразків та порід.

Дана робота присвячена аналізу параметрів пружної та акустичної анізотропії при дослідженні багатокомпонентної моделі теригенної породи-колектора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження анізотропії пружних властивостей осадових порід і мінералів нечисленні і досить суперечні. Дослідники, що займалися цим питанням, зокрема, A. Abouchakraguery, B.K. Atkinson, L. Chen, D. Grgic, F. Cormery, P. Haupt, Th. Kersten, D. Hoxha, A. Giraud, Y. Kozlovsky, V.E. Mirenkov, A.A. Krasnovsky, P. Plechac, J. Sgaoula, J. Shao, M.C. Weng, L.S. Tsai, K. Wilmański, K.C. Александров, С.А. Вижва, Б.П. Маслов, Г.Т. Продайвода, М.Г. Храмченков та інші [3, 5-8] приділяли також увагу і математичному моделюванню анізотропних акустичних властивостей.

Пряма задача акустики анізотропних середовищ зводиться до розв'язання рівняння Гріна-Крістофеля

$$(\Gamma_{il} - \rho^* v^2 \delta_{il}) u_l = 0,$$

де $\Gamma_{il} = C_{ijkl}^* n_j n_k$ – тензор Гріна-Крістофеля, C_{ijkl}^* – ефективний тензор пружних постійних середовища, ρ^* – його ефективна густина, u_l – компоненти вектору

пружних зміщень, δ_{il} – дельта Кронекера, n_k – компоненти вектору хвильової нормалі.

У загальному випадку триклинної пружної симетрії ця задача може бути вирішена чисельно за допомогою різних методів. Для вирішення поставленої задачі використовувалися раніше розроблений метод [3]. Його перевага полягає в можливості чисельних розрахунків параметрів для моделей максимально наближених до реального складнобудованого колектора [1-4].

Обернена задача при моделюванні зводиться до визначення пружних постійних, якщо відомі фазові швидкості вздовж чітко заданих напрямків хвильової нормалі й визначенні функції розподілу орієнтації мінералів і мікротріщин. Основними властивостями моделі є фазові швидкості розповсюдження пружних хвиль по вздовжній v_p та поперечній v_s поляризації, а також ефективна густина середовища. Інверсія даних здійснюється відомим методом найменших квадратів (МНК) з використанням методів нелінійної оптимізації.

Пружні та акустичні властивості теригенних порід визначаються не лише їхнім мінералогічним складом, але й їхньою мікроструктурою. Під мікроструктурою розуміється форма і розмір частинок, їх взаємна орієнтація і тип структурних зв'язків.

Математична модель складнобудованого теригенного колектора являє собою жорстку матрицю, яка мінералогічно представлена кварцом. Матриця розчленована різними за формою, розмірами та орієнтацією пористостями (насичені газом) з відмінними значеннями форматів ($\alpha = a/c$, де a , c – напіввісі сфероїда обертання) та мі-

нералами (з різною кристалографічною орієнтацією зерен певної форми; різними концентраціями включень).

Практично обґрунтування математичної моделі, що розроблена в роботі, базується на результатах комплексних геолого-петрофізичних досліджень складно-побудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину [4] колективу авторів ННІ "Інститут геології". Мінералогічно для математичного

моделювання обрано пісковик, основою якого є кварц, а включеннями мінерали: монтморилоніт (концентрація включень глини змінюється в деяких моделях від 1 до 20 %), мусковіт, зерна кальциту. Формат мінералів прийнятий як 0,7 подібно до попередніх досліджень осадових порід. Формати пустот та їх концентрації (табл. 1) обрані за результатами попередніх досліджень авторів [2–4].

Таблиця 1

Задані параметри математичних моделей

№ та назва моделі	Мінеральний склад (концентрація, %)	Формат пустот (концентрація, %)		
		Тріщини	Пустоти	
1. Тріщинно-поровий кварцовий пісковик	Кварц (90)	0,003 (1)	0,5 (1,3,5,7,9)	
2. Тріщинно-поровий кварцовий пісковик	Кварц (90)	0,003 (1)	0,9 (1,3,7,9)	
3. Кварцовий пісковик з глинистим цементом	Кварц (80), Монтморилоніт (10)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)
4. Кварцовий пісковик з глинистим цементом та слюдою	Кварц (65-88), слюда (5), монтморилоніт (1-20)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)
5. Кварцовий пісковик з глинистим цементом та включенням зерен кальциту і слюди	Кварц (55-75), слюда (5), кальцит (10), монтморилоніт (1-20)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)

Результати математичного моделювання. Авторами проведено математичне моделювання впливу мінерального складу, типу та величини пористості на параметри пружної та акустичної анізотропії пісковиків Волино-Полділля.

Розраховані та досліджені в поперечно-ізотропному наближенні наступні величини: густина моделі (ρ), коефіцієнт акустичної анізотропії (A_μ), пружні постійні (C_{ij}), параметри акустичного тензору (μ_{ij}), параметри акустичної лінійності (L_μ) та сланцюватості (S_μ). Результати дослідження представлені у вигляді таблиць, графіків та стереопроєкцій ізоліній значень параметрів акустичної анізотропії. На основі всіх одержаних даних математичного моделювання авторами отримані наступні результати.

Густина **моделі 1** зменшується зі зростанням концентрації пустот в межах 2553–2342 кг/м³, оскільки зменшується власна маса скелету і пори заповнюються більшим об'ємом газу зі значно меншою густиною, ніж у кварцу.

Коефіцієнт акустичної анізотропії зменшується в цій моделі від 7,77% до 7,23 %. Модель має ромбічно аксіальний тип симетрії текстури ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$, $C_{11} < C_{22} > C_{33}$, $C_{44} > C_{55} > C_{66}$).

Модель 2 представлена середньо анізотропною породою, коефіцієнт її акустичної анізотропії відповідно зменшується від 7,63 % до 7,19 % і значно менший через наявність тріщин, ніж у попередній моделі. Тип симетрії текстури ромбічно аксіальний ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$, $C_{11} < C_{22} > C_{33}$, $C_{44} = C_{55} \neq C_{66}$). Значення пружних постійних збільшуються зі збільшенням концентрації пустот, особливо для C_{12} з від'ємними значеннями.

Густина **моделі 3** менша в середньому на 200 кг/м³ за густину попередніх моделей, так як до наявних пустот додався глинистий мінерал монтморилоніт. Коефіцієнт акустичної анізотропії різко зменшується від 7,0% до 2,54% (від середньоанізотропної до низькоанізотропної породи).

В **моделі 4** залежність лінійності від сланцюватості показує переважно ромбічно аксіальний тип симетрії текстури ($\mu_{11} < \mu_{22} < \mu_{33}$, $C_{11} \neq C_{22} \neq C_{33}$, $C_{44} < C_{55} > C_{66}$). Встановлено поступове збільшення

пружних постійних зі зростанням концентрації мінералу. Однак для C_{12} притаманний від'ємний характер.

Модель 5 характеризується поступовим зменшенням густини зі збільшенням концентрації глинистого мінералу в межах 2403 – 2393 кг/м³. У порівнянні з моделлю 3, у моделі 5 включення зерен кальциту і лусок мусковіту зменшили вплив глини на густину. Модель – слабоанізотропна, коефіцієнт акустичної анізотропії A_μ змінюється від 1,16 % до 3,57 %. A_μ поступово зменшується при збільшенні концентрації глинистого мінералу від 1% до 10%, а потім він збільшується при концентраціях 15 – 20 %. Тип симетрії акустичної текстури ромбічно аксіальний ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$). Наявність мінусових значень у трьох пружних постійних C_{12} , C_{13} , C_{23} говорить про відмінність моделі від поперечно-ізотропного середовища.

Переважають більшості моделей розглянутої теригеної складнопобудованої породи-колектора характерний ромбічно аксіальний тип симетрії текстури. Сланцюватий мотив текстури притаманний для моделей чистого кварцового пісковика та пісковика з включеннями глинистого цементу.

В результаті збільшення концентрації пустот густина моделей поступово зменшується. При включенні мінералу монтморилоніту значення густини стає меншим, так як густина мінералу нижча за густину скелету. Луски мусковіту і зерна кальциту у мінеральному складі породи збільшують величину густини з підвищенням концентрації останнього, однак при включенні глинистого мінералу густина зменшується, але вже у незначних межах.

За інтегральним коефіцієнтом акустичної анізотропії A_μ (приклад – на рис. 1-2) розглянуті моделі являються слабо-, середньо- і високоанізотропними. Зі збільшенням концентрації пустот A_μ зменшується в межах десятків відсотків. Різке зменшення A_μ на 3 % спостерігається зі включенням мінералу монтморилоніту. У моделях з мінералами кварцу, кальциту, слюди спостерігається при концентраціях зерен кальциту 1–10 % зменшення A_μ , а в межах 10–20 % – поступове збільшення акустичної анізотропії. Така ж зміна A_μ прослідковується

ся тоді, коли до мінерального складу кварц-кальцит-слюда включається глина, і концентрація збільшується від 1 % до 20 %, але в менших значеннях параметру A_{μ} . Зі збільшенням формату тріщин величина інтегрального коефіцієнту переважно зростає в межах 0,5–0,7 %, на відмінну від пор. Значення акустичної анізотропії різко зростає на 1,5 % при збільшенні форматів тріщин і одночасному зменшенню формату пор при однакових їхніх концентраціях.

на відмінну від пор. Значення акустичної анізотропії різко зростає на 1,5 % при збільшенні форматів тріщин і одночасному зменшенню формату пор при однакових їхніх концентраціях.

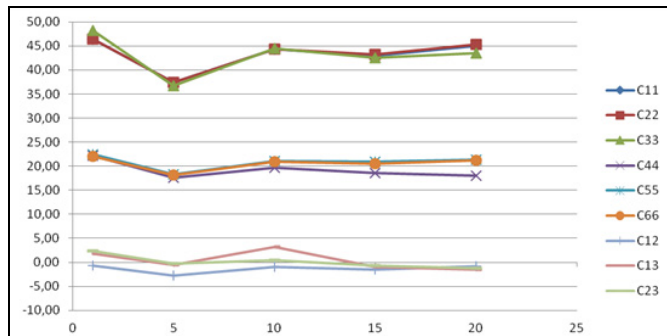
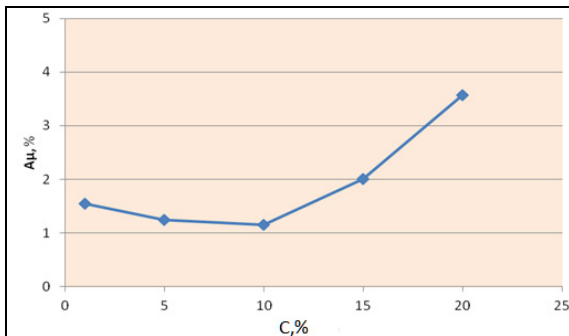


Рис. 1. Ефективні акустичні і пружні параметри моделі кварцовий пісковик з глинистим цементом та включенням зерен кальциту і слюди:
а – коефіцієнт інтегральної акустичної анізотропії, б – ефективні пружні постійні

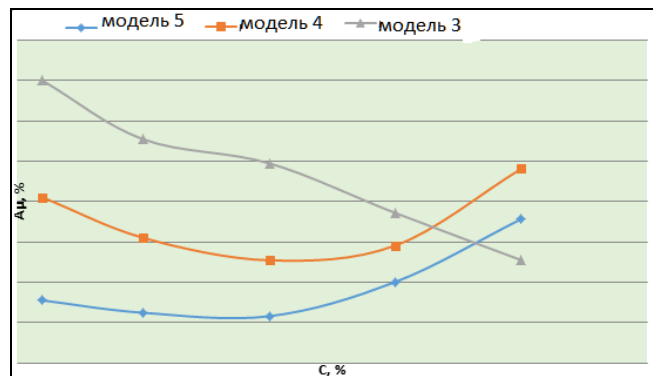
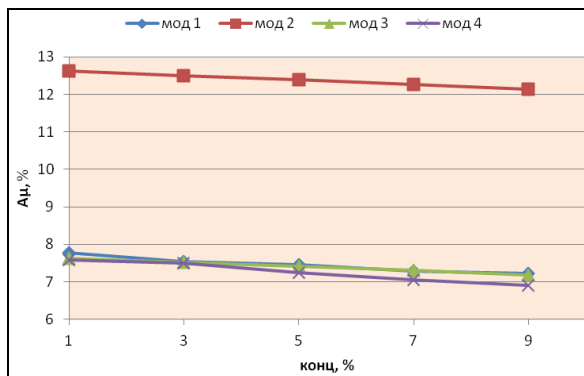


Рис. 2. Залежність коефіцієнта акустичної анізотропії від концентрації пор (а) та мінералів (б)

Прослідковується поступове зменшення значень відповідних пружних постійних C_{ij} з підвищенням концентрації пор, і навпаки, збільшення їхніх величин при включенні мінералів. Особливо ці зміни спостерігаються в значеннях недиагональних компонент. Крім того моделі характеризуються від'ємною складовою C_{12} , що може бути пов'язано з тим, що геологічне середовище, яке було змодельоване не відповідає поперечно-ізотропній симетрії.

Для вичерпного дослідження закономірностей розповсюдження пружних хвиль у математичних моделях теригенної породи-колектора був проведений аналіз параметрів пружної анізотропії (приклад див. на рис. 3).

Азимутальна залежність параметрів анізотропії представлена у вигляді стереопроєкцій ізоліній значень досліджених моделей, а саме:

- фазових швидкостей квазіповздовжньої хвилі;
- різниці значень фазових швидкостей "швидкої" і "повільної" квазіпоперечних хвиль;
- коефіцієнта диференціальної пружної анізотропії.

На стереопроєкціях вказівних поверхонь параметрів анізотропії моделей спостерігаються такі особливості:

Модель 1. Для вказівної поверхні фазової квазіповздовжньої хвилі проглядаються 3 екстремальні напрямки. Вздовж них поширюються повздовжні хвилі, вектори пружних зміщень яких збігаються з напрямком хвильової нормалі. Для цих напрямків характерні мінімальні кути відхилення векторів пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Екстремальним значенням швидкостей відпові-

дають мінімальні коефіцієнти диференціальної пружної анізотропії A_d . Одержані результати A_d добре зіставляються з величиною інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_{μ} . Різниця між "швидкою" і "повільною" поперечними модами має значення 0,4 км/с для концентрації 1 % і 0,36 км/с для концентрації 9 %.

Модель 2. Характерні 3 екстремальні напрямки для вказівної поверхні квазіповздовжньої хвилі. Аналогічно першій моделі, у моделі 2 даним екстремальним напрямкам відповідають мінімальні значення диференціального коефіцієнту пружної анізотропії, а також найменша різниця "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль. Проміжку значень диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d відповідає інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії A_{μ} . Величина A_d має змінний характер від 10,5 % для концентрації 1 % до 10 % для концентрації 9 %. У різниці "повільної" та швидкої" поперечних мод спостерігаємо її мінімальні значення у екстремальних напрямках хвильової нормалі. Отримана різниця становить 0,4 км/с для концентрації 1 % та 0,36 км/с для концентрації 9 %.

Модель 3. Спостерігається зменшення кількості екстремальних значень квазіповздовжньої хвилі на вказівній поверхні від 3 для концентрації 1 % до 1 для концентрації 20 %. Швидкість збільшується від 4,42 км/с для 1 % до 4,51 км/с для 20 % концентрації монтморилоніту. Різниця "повільної" і "швидкої" поперечних хвиль значно зменшується від 0,36 км/с для концентрації 1 % до 0,16 км/с для

20 %. При цьому, максимальне значення різниці поперечних мод співпадає з екстремальним напрямком квазіповздовжньої хвилі. Диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії A_d має характер зміни від максимального 10 % для 1 % до 5 % для 20% концентрації мінералу. Також, з ним добре зіставляється інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії. Два мінімальних значення A_d , що показують закономірність розповсюдження пружних хвиль як у ізотропному середовищі, і не співпадають з екстремальним напрямком хвильової нормалі, але їм відповідають максимальні величини різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.

ент акустичної анізотропії. Два мінімальних значення A_d , що показують закономірність розповсюдження пружних хвиль як у ізотропному середовищі, і не співпадають з екстремальним напрямком хвильової нормалі, але їм відповідають максимальні величини різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.

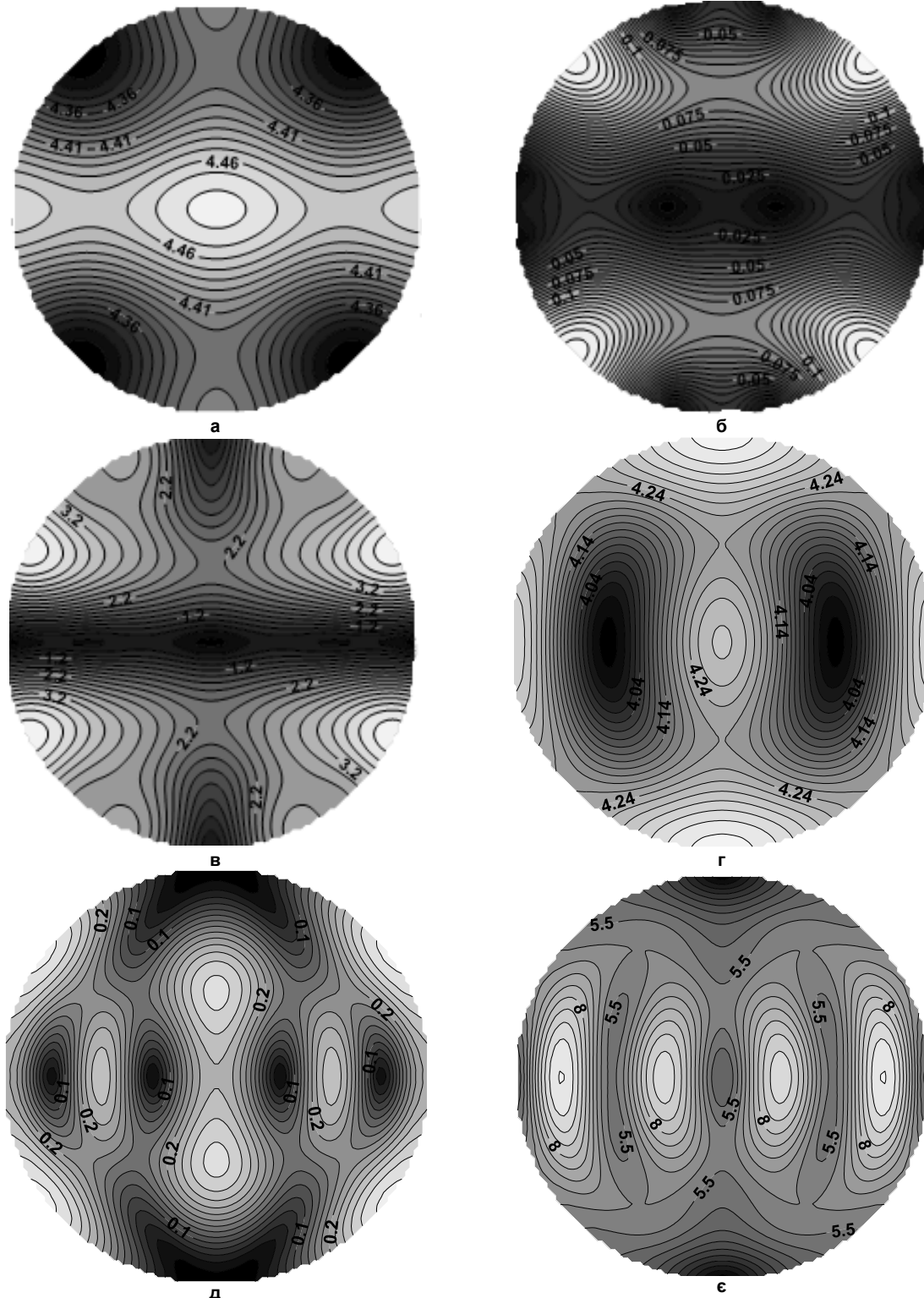


Рис. 3. Стереопроєкції ізолій значень параметрів анізотропії моделі 5 – Кварцовий пісковик з глинистим цементом та включенням зерен кальциту і слюди з вмістом монтморилоніту 1% (а, б, в) та 20% (г, д, є): а, е – швидкість квазіповздовжньої хвилі (км/с); б, д – різниця значень фазових швидкостей "швидкої" і "повільної" квазіпоперечних хвиль; в, є – коефіцієнт диференціальної пружної анізотропії

Модель 4. На відміну від концентрації 1 % з наявним одним екстремальним значенням, модель 5 для концентрації 20 % має наблизенні до екстремальних напрямків чотири величини. Різниця "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль змінюється від максимального 0,14 км/с для концентрації 1 % до 0,28 км/с для концентрації 20 %. Чітко виділяються 4 максимальні значення різниці поперечних мод. Диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії A_d змінюється в максимальних величинах від 5,6 для концентрації 1 % до 7,5 для 20 %. Мінімальне значення A_d співпадає за напрямком з мінімальною різницею "повільної" і "швидкої" поперечних хвиль. Інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії A_μ добре корелює з A_d .

Модель 5. Вказівна поверхня фазової швидкості квазіповздовжньої хвилі для моделі 5 має три екстремальних напрямки. Вздовж них поширюються повздовжні хвилі, вектори пружних зміщень яких збігаються з напрямком хвильової нормалі (рис. 3, а, г). Крім того, напрямки хвильової нормалі, що відповідають екстремальним значенням швидкостей, збігаються з максимумами диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d (рис. 3, в, є). Величина різниці між "швидкою" і "повільною" поперечними модами змінюється від 0,15 км/с для концентрації 1 % до 0,32 км/с для концентрації 20 %, а кількість екстремумів від 2 до 8 для максимальної концентрації (рис. 3, б, д). Значення інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_μ добре узгоджуються із середніми значеннями диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d (рис. 3, в). Значення A_d змінюються від максимальних 4,2 % для концентрації 1 % до 10,5 % для концентрації 20 %. Явних площин, у яких закономірність розповсюдження пружних хвиль наближається до ізотропного середовища, не спостерігається. Максимальним значенням відповідають мінімальні значення різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.

Таким чином, на стереопроєкціях кількісно і якісно відображаються вплив мінерального складу та типів пористості моделей порід та значні зміни в значеннях параметрів їх акустичної анізотропії.

Найбільш інформативним параметром анізотропії є диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії (A_d). Значення цього параметру (від 4,2 % до 15,5 %) зменшується зі збільшенням концентрації пустот, і для різних типів тріщинно-порового простору A_d має неоднакові значення. Зміна пружної анізотропії при зменшенні формату пор у два рази збільшує значення A_d , на відміну від зміни типу тріщин. Включення мінералу монтморилоніту різко знижує пружну анізотропію при концентрації 20 % у два рази до значення A_d – 5 %, але при наявності зерен кальциту і лусок мусковіту диференціальний коефіцієнт анізотропії зростає до 10 %. Встановлено, що структурні особливості включеного мінералу мають більший вплив для визначення ступеню пружної анізотропії породи в цілому, ніж формати пустот цієї моделі породи.

Висновки Таким чином, в результаті проведеного моделювання були визначені і описані акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу та концентрації включень, які були представлені мінералами (монтморилоніт, кальцит і мусковіт) та пустотами різних форматів. Результати проведеного математичного моделювання є важливим етапом при обґрунтуванні математичних моделей, що використовуються при інтерпретації геофізичних даних для пошуків і розвідки газонасичених порід-колекторів.

Перспективами в розвитку математичного моделювання складнопобудованих теригенних порід наведеного типу є врахування отриманих висновків та проведення розрахунків аналізу ефективних пружних постійних в ромбічному наблизенні, що найкраще наблизить математичну модель до реального геологічного середовища

Список використаних джерел

1. Александров К. С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород / К. С. Александров, Г. Т. Продайвода. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.
2. Безродна І. М. Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску / І. М. Безродна. // Вісник НГУ. – 2014. – №3. – С. 21–25.
3. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу / Г.Т. Продайвода, С.А. Вижва, І.М. Безродна, Т.Г. Продайвода. – Київ: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 367 с.
4. Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину: звіт з НДР / [С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, І. М. Безродна та ін.]. – К., 2011. – 594 с.
5. A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial / A. Abouchakruey, F. Cormery, K. Su та ін. // PhysChem Earth. – 2008. – №33. – С. 416–421.
6. An associated elastic–viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation / M. Weng, L. Tsai, Y. Hsieh, F. Jeng. // Int J Rock Mech Min Sci. – 2010. – №47. – С. 1263–1273.
7. Atkinson B. K. Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications / B. K. Atkinson // J Struct Geol. – 1982. – №4. – С. 41–56.
8. Grgic D. Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferriferous formation: автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук / D. Grgic; INPL, Nancy (in French), 2001.

References

1. Aleksandrov K.S., Prodaivoda G.T. (2000). Anizotropiia uprugikh svoystv mineralov i gornykh porod. Publishing RAS, 354 p. [in Russian].
2. Bezrodna I.M. (2014). Otcinka strukturi pustotnogo prostoru karbonatnykh porid za rezultatami akustichnykh doslidzhen v umovakh zminnogo tisku. Vestnik NSU, 3, 21-25. [in Ukrainian].
3. Prodaivoda H.T., Vyzhva S.A., Bezrodna I.M., Prodaivoda T.H. (2011). Heofizychni metody otsinky produktyvnosti kolektoriv nafty i hazu. VPTs "Kyivskyi universytet", 367 p. [in Ukrainian].
4. Vyzhva S.A., Prodaivoda G.T., Bezrodna I.M. та інш. (2011). Kompleksni geologo-petrofizichni doslidzhennia skladnopolubudovanykh porid-kolektoriv skhidnogo skhilu Lvivskogo paleozoiskogo progynu: zvit z NDR, 594 p. [in Ukrainian].
5. Abouchakruey A., Cormery F., Su K., Shao J., Kondo D. (2008) A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial. PhysChem Earth, 33, 416–421.
6. Weng M.C., Tsai L.S., Hsieh Y.M., Jeng F.S. (2010) An associated elastic–viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation. Int J Rock Mech Min Sci., 47(8), 1263–1273.
7. Atkinson B.K. (1982). Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications. J Struct Geol., 4, 41-56.
8. Grgic D (2001) Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferriferous formation. Ph.D. Thesis, INPL, Nancy.

Надійшла до редколегії 01.04.16

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: bezin3@ukr.net;

D. Bezrodnyi, Cand. Sci. (Geol.), Associate professor

E-mail: manific2@ukr.net;

R. Holiaka, student

E-mail: holyaka_roman@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MATHEMATICAL MODELLING OF INFLUENCE OF THE MINERAL COMPOSITION AND POROSITY ON ELASTIC ANISOTROPIC PARAMETERS OF COMPLEX SEDIMENTARY ROCKS OF VOLYN-PODOLIA AREA

The purpose of this paper is to analyze parameters of acoustic and elastic anisotropy registered at studying multi-species model of sedimentary reservoir.

According to the results of mathematical modeling of complexly structured sandstones, the parameters of acoustic and elastic anisotropy of developed models have been received and analyzed depending on lithology, concentration and type of inclusions. Methods of moment functions with using a calculated Mori-Tanaka scheme and the method of least squares are used to solve this problem. The model is based on previous publications of the authors and the results of petrographic studies carried out at ESI 'Institute of Geology'.

Rhombic type axial symmetry texture is typical for the majority of models of complex reservoir rocks. Slaty texture motif is characteristic for the models of pure quartz sandstone and sandstone with inclusions of clay cement.

As a result of increasing the concentration of voids density of models decreases. At presence of montmorillonite density value becomes smaller. Muscovite flakes and calcite grains present in mineral composition of rocks increase the density with increasing concentrations of the latter. However, at presence of clay mineral inclusions density decreases, but in a small range.

It is established that the developed models might be described as low, medium and high anisotropic ones. At increasing concentration of voids coefficient of integrated acoustic anisotropy decreases at about tenth of percent, with sharp decrease (3 %) being observed at presence of montmorillonite. In models with quartz, calcite, mica minerals the decrease of coefficient of the acoustic anisotropy is observed at calcite grains concentrations of 1-10 %, and in case of 10-20 % of their concentration it is gradually increase. With increasing the size of cracks value of integral factor of anisotropy mainly rise within 0.5-0.7 %.

Gradual reduction of the calculated values of elastic constants is observed at increasing concentration of voids, and vice-versa, their values are increased at presence of inclusions of minerals. The most large changes are observed in the values of non-diagonal components.

As the result of the modeling, acoustic and elastic characteristics of the proposed models were described depending on the type and concentration of inclusions represented by minerals (montmorillonite, calcite and muscovite) and voids of different formats.

Keywords: mathematical modelling, elastic anisotropic, complexly structured sandstones.

И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.

E-mail: bezin3@ukr.net;

Д. Безродный, канд. геол. наук, доц.

E-mail: manific2@ukr.net;

Р. Голяка, студ.

E-mail: holyaka_roman@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И ПОРИСТОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ТЕРИГЕННЫХ ПОРОД ВОЛЫНО-ПОДОЛЯ

Цель работы – анализ параметров упругой и акустической анизотропии при исследовании многокомпонентной модели терригенной породы-коллектора.

По результатам математического моделирования сложнопостроенных песчаников были получены и проанализированы параметры акустической и упругой анизотропии разработанных моделей в зависимости от литологии, концентрации и типа включений. Для решения поставленной задачи использовались методы условных моментных функций с использованием расчетной схемы Мори-Танак и метод наименьших квадратов. В основу моделей взяты предыдущие публикации авторов и результаты петрографических исследований в УНИ "Институт геологии".

Подавляющему большинству моделей сложнопостроенных пород-коллекторов характерен ромбический аксиальный тип симметрии текстуры. Сланцеватый мотив текстуры присущ для моделей чистого кварцевого песчаника и для песчаника с включениями глинистого цемента.

От плотности моделей уменьшается. При включении монтмориллонита значение плотности становится меньше. Чешуи мусковита и зерна кальцита в минеральном составе породы увеличивают величину плотности с повышением концентрации последнего, однако при включении глинистого минерала плотность уменьшается, но уже незначительно.

Установлено, что разработанные модели характеризуются как слабо-, средне- и высоко анизотропные: с увеличением концентрации пустот коэффициент интегральной акустической анизотропии уменьшается в пределах десятков процентов, резкое его уменьшение (на 3 %) наблюдается с включением монтмориллонита. В моделях с минералами кварца, кальцита, слюды наблюдается при концентрациях зерен кальцита 1 – 10 % уменьшение коэффициента акустической анизотропии, а в пределах 10 – 20 % – постепенное его увеличение. С увеличением формата трещин величина интегрального коэффициента анизотропии преимущественно растет в пределах 0,5-0,7 %.

Прослежено постепенное уменьшение рассчитанных значений эффективных упругих постоянных с повышением концентрации пустот, и наоборот, увеличение их величин при включении минералов. Наиболее сильно эти изменения наблюдаются в значениях недиагональных компонент.

В результате проведенного моделирования были определены и описаны акустические и упругие характеристики предложенных моделей в зависимости от типа и концентрации включений, которые были представлены минералами (монтмориллонит, кальцит и мусковит) и пустотами различных форматов.

Ключевые слова: математическое моделирование, упругая анизотропия, сложнопостроенные песчаники.

УДК 550.382.3

О. Меньшов, канд. геол. наук, докторант

E-mail: menshov.o@ukr.net

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

Р. Кудеравець, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: romankud@cb-igph.lviv.ua

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
вул. Наукова, 3-б, Львів, Україна;

С. Попов, канд. геол. наук

E-mail: saporovsa@mail.ru;

Р. Хоменко, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.

E-mail: hristianin@bigmir.net;

А. Сухорада, канд. геол.-мін. наук, доц.

E-mail: suhorada@univ.kiev.ua

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

І. Чоботок, мол. наук. співроб.

E-mail: icbt@i.ua

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

ТЕРМОМАГНІТНИЙ АНАЛІЗ ҐРУНТІВ ТЕРИТОРІЙ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ

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

При дослідженні інформативності магнетизму ґрунтів при пошуках корисних копалин на прикладі покладів вуглеводнів перед нами постають завдання залучення додаткових магнітних параметрів з метою підвищення ефективності інтерпретації отриманих матеріалів. У даній статті розглядається інформативність термомагнітного аналізу ґрунтів, відібраних на території покладів вуглеводнів з метою з'ясування магнітної мінералогії та її температурних змін. Для ілюстрації було обрано територію покладів вуглеводнів "Старуня", де раніше нами та партнерами було проведено вивчення магнітної сприйнятливості ґрунтового покриву, профільну магніторозвідку та геохімічні дослідження у зоні покладів. У даній роботі пропонується зупинитися на термомагнітному аналізі ґрунтів. Для співставлення та інтерпретації результатів було залучено дані термомагнітного аналізу зразків ґрунтів з території покладів нафти і газу у Венесуелі. Термомагнітний аналіз є ефективним та інформативним методом визначення магнітних мінералів, які формують магнітні властивості ґрунтів над покладами вуглеводнів. При цьому феромагнетики найчастіше можуть бути комбінацією педогенних мінералів та аутогенних магнітних фаз, що формувалися під впливом вуглеводневої речовини. На прикладі родовища у межах полігону "Старуня" визначена складна асоціація магнітних мінералів у ґрунтах. Ідентифікуються сульфідні заліза, зокрема піротин. Також, в усіх зразках виявлено магнетит. Крім того, відзначаються температурні зміни магнітної сприйнятливості, що можуть характеризуватися як фазові переходи магеміт-гематит. Доменний стан впливає на криву температурної залежності, що може бути наслідком переходу ультрадисперсних однодомених (SD) магнітних частинок при зростанні температури у суперпарамагнітний стан (SP). Порівняння із результатами термомагнітного аналізу ґрунтів із родовища вуглеводнів у Венесуелі дозволило дійти висновку, що у них чітко ідентифікований лише магнетит. При цьому, українські ґрунти полігону "Старуня" характеризуються значно більш розмаїтим діагенетичним мінералогічним складом.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, температура Кюрі, ґрунти, вуглеводні.

Вступ. Виклики, що стають перед сучасними науково-дослідницькими колективами визначають актуальним завданням пошук новітніх енергозберігаючих технологій, які мають задовольняти принципи міждисциплінарності та орієнтуватися на спільні міждержавні проекти. Зокрема, такий підхід регламентується урядом та Міністерством Освіти і Науки України, які визначають першочергові напрямки для фінансування проектів та молодіжних тематик на основі пріоритетів програми Горизонт 2020. Крім того, закінчується законодавче формування єдиних наук про Землю як освітньої та наукової спеціальності, що інтегрує лівову частку геологічних та географічних напрямків досліджень.

Зазначені вище тенденції стосуються і паливної галузі України. Очевидно, що поряд із класичними методами пошуків та розвідки нафти і газу постає завдання залучення на різних етапах до даного процесу новітніх та експресних технологій. Протягом тривалого часу (починаючи з 90-х років минулого століття) на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка проводяться дослідження магнетизму ґрунтового покриву. В останні роки вишукування перейшли до стадії вивчення інформативності магнетизму ґрунтів для використання в екології, ґрунтознавстві та геології. Частина досліджень присвячена вивченню інформативності магнітних методів при дослідженні покладів вуглеводнів. У даній статті не будемо зупинятися на історії даної проблеми, оскільки основні результати висвітлені у серії публікацій, наприклад [10].

Постановка задачі та стан проблеми. Вивчаючи інформативність магнетизму ґрунтів при пошуках корисних копалин на прикладі вуглеводнів, перед нами постає низка проблем, розв'язання яких вимагає підвищення ефективності інтерпретації. Нами фіксуються магнітні аномалії поруч із покладами вуглеводнів, які підтверджуються результатами магніторозвідки в Україні [7] та за її межами [3], а також геохімічними методами [6, 14]. При цьому актуальним завданням є з'ясування фізичних процесів, які відбуваються у верхній частині геологічного розрізу і ґрунтах під дією вуглеводнів і ведуть до зміни їх магнітності. Зрозуміло, що основною причиною зміни магнітної сприйнятливості ґрунтового покриву є формування аутогенних магнітних мінералів. При цьому можуть утворюватися як феромагнетики, що призводять до зростання основних магнітних величин, так і менш магнітні сполуки заліза (парамагнітні та антиферомагнітні за природної температури мінерали).

У даній статті пропонується розглянути інформативність термомагнітного аналізу ґрунтів, відібраних на території покладів вуглеводнів, з метою з'ясування магнітної мінералогії та її температурних змін.

Для ілюстрації нами було обрано територію покладів вуглеводнів "Старуня". Результати вивчення магнітної сприйнятливості її ґрунтового покриву та магніторозвідки над відповідними покладами наведено у роботі [11]. Зараз пропонуємо сконцентруватися саме на термомагнітному аналізі відповідних зразків ґрунтів. При обговоренні результатів для порівняння та більш глибо-

кого розуміння процесів, які фіксуються у ґрунтах, було залучено результати термомагнітного аналізу зразків з території покладів нафти і газу у Венесуелі [4].

Термомагнітний аналіз зразків ґрунтів з територій перспективних на поклади вуглеводнів успішно застосовується у Світі. У роботі [13] вивчаються аутогенетичні зміни магнітних мінералів верхньої частини геологічного розрізу та вплив флуктуації ґрунтових вод на магнітну сприйнятливість вуглеводневмісних підстилаючих порід та ґрунтів на прикладі вуглеводневого родовища Ханігсен, Німеччина. Досліджуються точки Кюрі та переходи Вервея (характеристика за від'ємних температур). Ідентифікуються магнітні фази та доменний стан магнетиків, які формують магнітні властивості ґрунтового покриття, що вивчається. У роботі [12] відзначається, що мікроорганізми у середині ґрунтового покриття відіграють визначальну роль у діагенетичних змінах у присутності вуглеводнів.

У роботі [8] відзначається, що термомагнітний аналіз залишкової намагніченості може нести більше інформації щодо вмісту феромагнітних мінералів, оскільки на його результати не впливає вміст парамагнетиків. На прикладі вуглеводневого родовища Капушаліанг у Китаї автори ідентифікували магнітом'яку мультидоменну (MD) фазу, скоріше за все магнетит, а також піротин із точкою Кюрі близькою до 320 °С. Ефективність термомагнітного аналізу для ідентифікації магнітних фаз доводиться ще багатьма роботами, що проводилися на територіях покладів вуглеводнів по усьому Світу [2]. Тому, нижче представимо до розгляду отриманих нами матеріалів для ґрунтів полігону "Старуня".

Матеріали і методи. Термомагнітний аналіз зразків ґрунтів проводився на прикладі нафто-озокеритового родовища "Старуня". Дана територія відноситься до Борислав-Покутської зони Передкарпатського прогину, що є основною нафтогазоносною територією Українських Карпат. Фактично, ландшафтні умови дослідної ділянки більше подібні до сусіднього Полісся. Гірський масив розташовується на відстані 10-20 км від дослідної ділянки. Комплексні магнітні дослідження проводилися уздовж латерального профілю MAG1 [11].

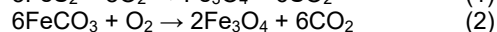
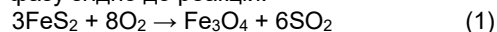
Для термомагнітного аналізу було обрано три зразки: насичений вуглеводнями ґрунт із підвищеними у 10 разів (порівняно із фоновими) значеннями магнітної сприйнятливості; зразок з генетичного горизонту В, що також був просяканий вуглеводнями та характеризувався аномально високою магнітною сприйнятливістю, а також, зразок із верхнього гумусового горизонту А, незміненого фонового лучного ґрунту даної території, що відібраний на відстані 1 км від родовища (слабомагнітний).

Термомагнітний аналіз виконувався за допомогою лабораторного капамістка KLY (Agico, Чехія) із додатковим обладнанням у вигляді печі для нагріву і устаткування для фіксації температури.

Результати та їх обговорення. З метою більш глибокого дослідження магнітних фаз та їх переходів було виконано термомагнітний аналіз зразків території полігону "Старуня". Результати наведено на рис. 1. На ньому представлені криві нагріву та охолодження зразка верхнього шару ґрунту, що насичений вуглеводнями та відібраний поруч із свердловиною Надія-1 (а), зразка із горизонту В, що насичений вуглеводнями (б), фонового зразка верхнього шару лучного ґрунту (в) та окремо крива його нагріву у більшому масштабі для зручнішої візуалізації (г).

Криві нагріву (а, г) демонструють подібну форму, але відрізняються за абсолютними значеннями магнітної сприйнятливості. Насичений вуглеводнями зразок є набагато магнітнішим. Відзначається пік магнітної

сприйнятливості поблизу 200 °С із подальшим спаданням значень при наближенні до 400 °С. Така закономірність може свідчити про присутність сульфідів заліза або магемітової фази [9]. Крім того, зазначена диференціація може викликатися наявністю ультрадисперсних однодоменних (SD) магнітних частинок за кімнатної температури із подальшим їх переходом у суперпарамагнітний стан (SP) при зростанні температури [13]. Формування максимумів при наближенні до позначки у 500 °С є індикатором формування нових мінералів магнетиту. Даний процес може бути викликаним окисненням піриту або інших сульфідів вуглеводневого походження до фази магнетиту згідно до механізму запропонованого у роботі [1]. Припускається, що ґрунтовий покрив є потужним біогеохімічним бар'єром на шляху міграції вуглеводнів, які спричиняють потужну аутогенну сульфідну мінералізацію генетичних горизонтів. При цьому відбувається активний процес окиснення вуглеводнів із утворенням CO₂ та біогенного H₂S. Останнє призводить до реакцій із залізом та накопичення у ґрунтах ультрадисперсних зерен піриту та сидериту. Під час нагрівання у нашому випадку у процесі термомагнітного аналізу до 450-500 °С пірит та сидерит переходять у магнетитову фазу згідно до реакцій:



Наведені фазові переходи можуть пояснювати формування піків у діапазоні 500 °С. Подальший нагрів однозначно ідентифікує наявність магнетитової фази за точкою Кюрі, що наближається до 580 °С. Слід зауважити, що ґрунти є складними магнітними системами, які часто містять перехідні магнітні фази, що можуть зміщувати точки Кюрі класичних чистих магнітних фаз. Подальший нагрів не ідентифікував наявності гематиту. Однак слід зауважити, що у ряді випадків для його ідентифікації термомагнітним методом необхідні більш високоточні аналізи, залучення дослідження магнітних параметрів при низьких температурах, дослідження залежності намагніченості насичення від температури.

Повертаючись до аналізу отриманих термомагнітних кривих слід зауважити, що зразок, який аналізується на рис. 1б не проявляє максимумів при наближенні до 500 °С. Даний факт є ознакою значно меншого вмісту магнетитової фази. У той же час диференціація його магнітної сприйнятливості у діапазоні 200-400 °С вказує на основні магнітні фази даного зразка – сульфідів та магеміту. При цьому перший пік на позначці у 200 °С може бути проінтерпретований як згорання органічної речовини, а помітний мінімум біля позначки у 400 °С вказує на зв'язок із фазовими переходами магеміт-гематит [5].

Криві охолодження ідентифікують, що після нагріву формуються більш сильно магнітні фази, скоріше за все магнетиту.

Для підтвердження та більш глибокого аналізу результатів наших досліджень, які обговорені вище, звернемося до результатів вивчення термомагнітних залежностей для ґрунтів перспективної на поклади вуглеводнів території Венесуели (рис. 2) [4]. Продемонстровані два приклади нагрівання та охолодження зразків ґрунтів з родовища. Відзначається підвищення значень магнітної сприйнятливості для зразка 15 із нагрівом, а також різке спадання магнетизму при температурі близько 580 °С, що вказує на наявність магнетиту як основного магнітного мінералу. Також і зразок 3 характеризується зменшенням величини магнітної сприйнятливості при наближенні до 580 °С, що ідентифікує магнетитову фазу. Інші точки Кюрі є слабо візуалізованими і важко піддаються інтерпретації.

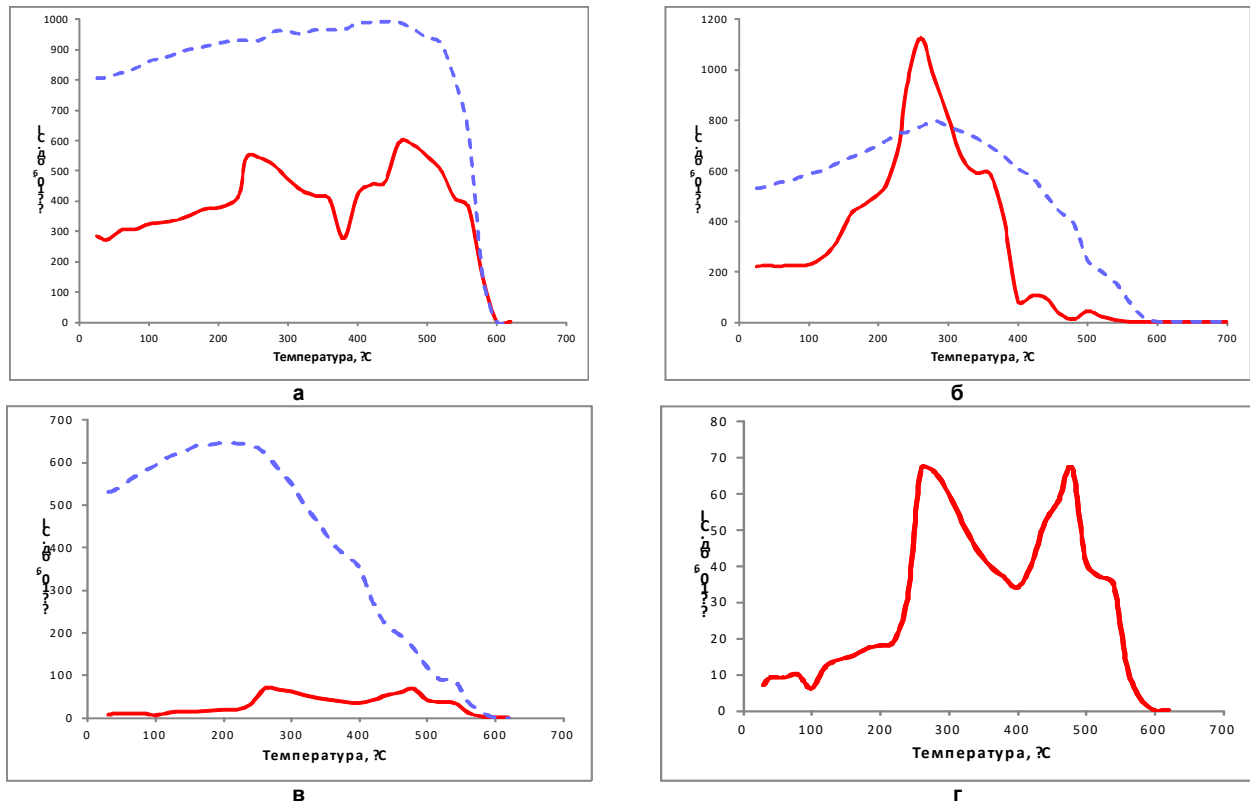


Рис. 1. Результати термомагнітного аналізу зразків ґрунтів полігону "Старуня":

а – зразок насичений вуглеводнями та відібраний поруч із свердловиною Надія-1, б – зразок із генетичного горизонту В, що насичений вуглеводнями, в – фоновий зразок верхнього шару лучного ґрунту, г – крива нагріву зразка (в) у збільшеному масштабі. Суцільна лінія – крива нагріву, пунктирна лінія – крива охолодження

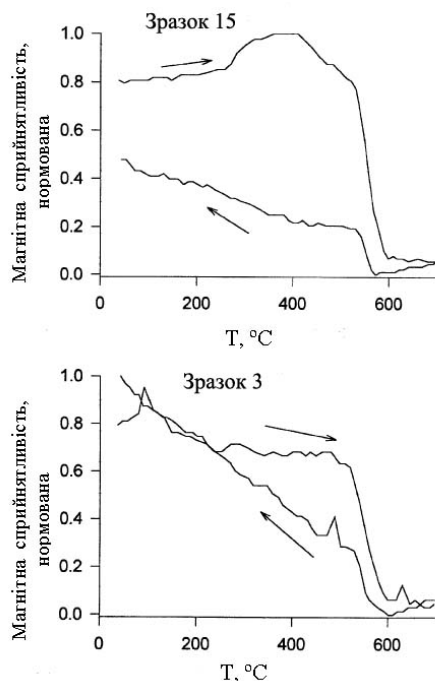


Рис. 2. Нормовані криві температурної залежності магнітної сприйнятливості (нагрів та охолодження) для двох зразків репрезентативних ділянок покладів вуглеводнів Венесуели (південна частина Venezuelan Andean Range) [4]

Таким чином, аналізуючи спільно матеріали термомагнітного аналізу для території родовища "Старуня" Україна та Венесуели слід відзначити, що фіксуються як спільні риси, так і суттєві розбіжності. В усіх випадках

ідентифікований вміст магнетиту. Це не є дивним, оскільки магнетитова фаза є найбільш розповсюдженою з поміж інших магнетиків у ґрунтах. Крім того, під час високотемпературних фізико-хімічних процесів відбувається вторинне поступове перетворення усіх магнітних фаз у магнетит, що успішно підтверджується кривими охолодження. Можливо, додаткову інформацію надасть серія нагрівів та охолоджень зразка до температури піротитової та магемітової фази (перехід магеміт-гематит), що планується у якості подальших досліджень.

Явною відмінністю зразків полігону "Старуня" є фіксація при нагрівах першого максимуму у діапазоні 200-300°C, другого максимуму для вміщуючих вуглеводні зразків поряд із 500°C, а також мінімуми близько 400°C, про що йшлося вище. Це може свідчити про різний генезис формування аутогенних мінералів ґрунтів, що пояснюється їх різнотипністю за класифікацією WRB, відмінностями у будові нафтогазових геологічних структур, літології та географічному розташування дослідних ділянок.

Висновки. Термомагнітний аналіз є ефективним та інформативним методом визначення магнітних мінералів, які формують магнітні властивості ґрунтів над покладами вуглеводнів. При цьому феромагнетити найчастіше можуть бути комбінацією педогенних мінералів та аутогенних магнітних фаз, що формувалися під впливом вуглеводневої речовини. На прикладі родовища у межах полігону "Старуня" визначена складна асоціація магнітних мінералів у ґрунтах. Ідентифікуються сульфіди заліза, зокрема піротин як їх феромагнітний представник. Також, в усіх зразках виявлено магнетит. Крім того, відзначаються температурні зміни, що можуть характеризуватися як переходи магеміт-гематит. Доменний стан впливає на криву температурної залежності, що є наслідком переходу ультрадисперсних однодомених (SD) магнітних частинок при зростанні темпе-

ратури у суперпарамагнітний стан (SP), що призводить до підвищення значень магнітної сприйнятливості.

Співставлення із термомагнітним аналізом ґрунтів із родовища вуглеводнів у Венесуелі дозволило дійти висновку, що порівняно із закордонними ґрунтами, у яких чітко ідентифікований лише магнетит, українські ґрунти характеризуються значно більш розноманітним діагенетичним мінералогічним складом.

Список використаних джерел

1. Решетников М.В. Магнитная индикация почв городских территорий (на примере г. Саратова) / М.В. Решетников // Монография. – Саратов: Сарат. гос. тех. ун-т., 2011. – 152 с.
2. Aldana M. Identification of magnetic minerals related to hydrocarbon authigenesis in venezuelan oil fields using an alternative decomposition of isothermal remanence curves / M. Aldana, V. Costanzo-Álvarez, L. Gómez et al. // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 2011. – № 55(2). – P. 343-358.
3. Aydemir A. Evaluation of gravity and aeromagnetic anomalies for the deep structure and possibility of hydrocarbon potential of the region surrounding Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey / A. Aydemir, A. Ates, F. Bilim et al. // *Surveys in Geophysics*. – 2014. – № 35(2). – P. 431-448.
4. Gonzalez F. An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area / F. Gonzalez, M. Aldana, V. Costanzo-Álvarez et al. // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. – 2002. – № 27(25). – P. 1311-1317.
5. Jordanova D. Thermomagnetic behavior of magnetic susceptibility – heating rate and sample size effects / D. Jordanova, N. Jordanova // *Front. Earth Sci.* – 2016. – № 3, 90 p.
6. Kotarba M.J. Distribution and origin of gaseous hydrocarbons and carbon dioxide in the Quaternary sediments at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine) / M.J. Kotarba, H. Sechman, M. Dzieniewicz // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. – 2009. – № 79. – P. 403-419.
7. Kuderavets R.S. Geomagnetic models of hydrocarbon deposits and perspective structures of central part of Dnipro-Donets depression / R.S. Kuderavets, V.Yu. Maksymchuk, Yu.M. Horodys'kyi // *Scientific Bulletin of Ivan-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*. – 2009. – № 1(19). – P. 73-81.
8. Liu Q. Magnetic and mineralogical characteristics of reservoir rocks in the Yakela oil field, northern Tarim Basin and their implications for magnetic detection of oil and gas accumulations / Q. Liu, S. Liu // *Chinese science bulletin*. – 1999. – № 44 (2). – P. 174-177.
9. Mathé V. Trace magnetic minerals to detect redox boundaries and drainage effects in a marshland soil in western France / V. Mathé, F. Lévêque // *European journal of soil science*. – 2005. – № 56, 6. – P. 737-751.
10. Menshov O. Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva et al. // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 2015. – № 59, 4. – P. 614-627.
11. Menshov O. Preliminary results of magnetic investigations at Starunia oil-ozokerite deposit (Carpathian Region, Ukraine) [Електронний ресурс] / O. Menshov, R. Kuderavets, I. Chobotok // 15th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects, May 2016, Kiev, Ukraine. – 2016.
12. Porsch K. Impact of organic carbon and iron bioavailability on the magnetic susceptibility of soils / K. Porsch, M. Rijal, T. Borch et al. // *Geoch. Cosmoch. Acta*. – 2014. – № 128. – P. 44-57.

13. Rijal M. Magnetic signature of hydrocarbon-contaminated soils and sediments at the former oil field Hänigsen, Germany / M. Rijal, K. Porsch, E. Appel, A. Kappler // *Stud. Geophys. Geod.* – 2012. – № 56. – P. 889-908.
14. Sechman H. Surface geochemical survey at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine) / H. Sechman, M.J. Kotarba, M. Dzieniewicz // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. – 2009. – № 79. – P. 375-390.

References

1. Reshetnikov M.V. (2011). Magnetic identification of the city soils (on an example of Saratov). Monograph, Saratov, 152 p.
2. Aldana M., Costanzo-Álvarez V., Gómez L., González C., Díaz M., Silva P., Rada M. (2011). Identification of magnetic minerals related to hydrocarbon authigenesis in venezuelan oil fields using an alternative decomposition of isothermal remanence curves. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55, 2, 343-358.
3. Aydemir A., Ates A., Bilim F., Buyuksarac A., Bektas O. (2014). Evaluation of gravity and aeromagnetic anomalies for the deep structure and possibility of hydrocarbon potential of the region surrounding Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey. *Surveys in Geophysics*, 35, 2, 431-448.
4. Gonzalez F., Aldana M., Costanzo-Álvarez V., Díaz M., Romero I. (2002). An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27, 25, 1311-1317.
5. Jordanova D., Jordanova N. (2016). Thermomagnetic behavior of magnetic susceptibility – heating rate and sample size effects. *Front. Earth Sci.*, 3, 90.
6. Kotarba M.J., Sechman H., Dzieniewicz M. (2009). Distribution and origin of gaseous hydrocarbons and carbon dioxide in the Quaternary sediments at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 403-419.
7. Kuderavets R.S., Maksymchuk V.Yu., Horodys'kyi Yu.M. (2009). Geomagnetic models of hydrocarbon deposits and perspective structures of central part of Dnipro-Donets depression. (In Ukrainian). *Scientific Bulletin of Ivan-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, 1, 19, 73-81.
8. Liu Q., Liu S. (1999). Magnetic and mineralogical characteristics of reservoir rocks in the Yakela oil field, northern Tarim Basin and their implications for magnetic detection of oil and gas accumulations. *Chinese science bulletin*, 44, 2, 174-177.
9. Mathé V., Lévêque F. (2005). Trace magnetic minerals to detect redox boundaries and drainage effects in a marshland soil in western France. *European journal of soil science*, 56, 6, 737-751.
10. Menshov O., Kuderavets R., Vyzhva S., Chobotok I., Pastushenko T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59, 4, 614-627.
11. Menshov O., Kuderavets R., Chobotok I. (2016). Preliminary results of magnetic investigations at Starunia oil-ozokerite deposit (Carpathian Region, Ukraine). 15th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects. May 2016, Kiev, Ukraine.
12. Porsch K., Rijal M., Borch T., Troyer L., Behrens S., Wehland F., Appel E., Kappler A. (2014). Impact of organic carbon and iron bioavailability on the magnetic susceptibility of soils. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 128, 44-57.
13. Rijal M., Porsch K., Appel E., Kappler A. (2012). Magnetic signature of hydrocarbon-contaminated soils and sediments at the former oil field Hänigsen, Germany. *Stud. Geophys. Geod.*, 56, 889-908.
14. Sechman H., Kotarba M.J., Dzieniewicz M. (2009). Surface geochemical survey at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 375-390.

Надійшла до редколегії 25.05.16

O. Menshov, Cand. Sci. (Geol.), Postdoctoral Student

E-mail: menshov.o@ukr.net

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

R. Kuderavets, Cand. Sci. (Geol.), Tenured Researcher

E-mail: romankud@cb-igph.lviv.ua,

Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine,
3-B Naukova, Lviv, Ukraine

S. Popov Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: sapopovsa@mail.ru,

R. Homenko, Cand. Sci. (Geol.), Junior Researcher

E-mail: hrstianin@bigmir.net,

A. Sukhorada, Cand. Sci. (Geol.), Professor Associate

E-mail: suhorada@univ.kiev.ua

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

I. Chobotok, Junior Researcher

E-mail: icbt@i.ua

Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine,
3-B Naukova, Lviv, Ukraine

THERMOMAGNETIC ANALYZES OF SOILS FROM THE HYDROCARBON FIELDS

In this paper we continue the studying of possible usage of the soil magnetism at the hydrocarbon prospecting. It is occurred that more additional soil magnetic data should be used to improve the interpretation of material obtained. This paper discusses the application of the thermomagnetic analysis of soil samples from the territory of hydrocarbon deposits to clarify the magnetic mineralogy and its temperature changes. Starunia

hydrocarbon field is lected for studying as an example, because of previous investigations of magnetic susceptibility of soils available as well as magnetic and geochemical survey works carried out in this area. The new results of thermomagnetic soil analysis are presented in this paper. For possible comparative discussion and interpretation we also used the results of the thermomagnetic analysis of soil samples from the oil and gas deposit of Venezuela. Thermomagnetic analysis is important method for determining the magnetic minerals, which form the magnetic properties of soils over the hydrocarbon field. We suggested that the ferrimagnetics are often the combination of the pedogenic minerals and authigenic magnetic phases, which are formed under the influence of hydrocarbons. Complex association of magnetic minerals are identified in the soils of oil and gas field Starunia. The iron sulphides like pyrrhotite phase are occurred in all soil samples, with magnetite being commonly found in all sample varieties. Moreover, temperature changes of magnetic susceptibility, which can be interpreted as a phase transitions of maghemite-hematite are also observed. The domain state has an apparent influence onto the thermomagnetic curves too, that could be the result of transition from the ultrafine single domain state (SD) under the room temperature to the superparamagnetic state (SP) at heating. Comparison between results of investigations of Ukrainian and Venezuela soil samples made it possible to conclude about the presence of the magnetite phase in both areas. At the same time, if the magnetite is the only ferromagnetic mineral identified in Venezuela, the Ukrainian soils are characterized by much more various authigenic mineralogical composition.

Keywords: magnetic susceptibility, Curie temperature, soil, hydrocarbons

А. Меньшов, канд. геол. наук, докторант

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

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

УНИ "Институт Геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина;

Р. Кудеравец, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.

E-mail: romankud@cb-igph.lviv.ua

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины

ул. Научная, 3-б, Львов, Украина;

С. Попов, канд. геол. наук

E-mail: sapopovsa@mail.ru;

Р. Хоменко, канд. геол. наук, мл. науч. сотруд.

E-mail: hristianin@bigmir.net;

А. Сухорада, канд. геол.-мин. наук, доц.

E-mail: suhorada@univ.kiev.ua

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

УНИ "Институт Геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина;

И. Чоботок, мл. науч. сотрудник

E-mail: icbt@i.ua

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,

ул. Научная, 3-б, Львов, Украина

ТЕРМОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

При исследовании информативности магнетизма почвы при поисках полезных ископаемых на примере залежей углеводородов перед нами стоят задачи привлечения дополнительных магнитных параметров с целью повышения эффективности интерпретации полученных материалов. В данной статье рассматривается информативность терромагнитного анализа почвы, отобранных на территории залежей углеводородов с целью выяснения магнитной минералогии, а также ее температурных изменений. Для иллюстрации была выбрана территория залежей углеводородов "Старуня", где ранее нами было проведено изучение магнитной восприимчивости почвенного покрова, магниторазведка, а нашими партнерами геохимические исследования в зоне залежей. В данной работе предлагается рассмотреть результаты терромагнитного анализа почвы. Для обсуждения и интерпретации результатов были привлечены данные терромагнитного анализа образцов почвы территории залежей нефти и газа в Венесуэле. Терромагнитный анализ является эффективным и информативным методом определения магнитных минералов, которые формируют магнитные свойства почвы над залежами углеводородов. При этом ферромагнетики зачастую могут быть комбинацией педогенных минералов и аутогенных магнитных фаз, которые формировались под влиянием углеводородного вещества. На примере месторождения в пределах полигона "Старуня" определена сложная ассоциация магнитных минералов в почвах. Идентифицируются сульфиды железа и пирротин. Также, во всех образцах обнаружен магнетит. Кроме того, отмечаются температурные изменения, которые могут характеризоваться как фазовые переходы маггемит-гематит. Доменное состояние влияет на кривую температурной зависимости, что является следствием перехода ультрадисперсных однодоменных (SD) магнитных частиц при росте температуры в суперпарамагнитное состояние (SP). Сравнение с терромагнитным анализом почвы месторождения углеводородов в Венесуэле позволило прийти к выводу, что в них четко идентифицирован только магнетит. При этом, украинские почвы характеризуются значительно более разнообразным диagenетическим минералогическим составом.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, температура Кюри, почвы, углеводороды

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.324:553.983

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф., директор

E-mail: vladvam@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

ПОШУКИ ТА ОЦІНКА НЕТРАДИЦІЙНИХ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ В УКРАЇНІ

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

Стаття присвячена розробці раціонального комплексу пошуків та геолого-економічної оцінки нетрадиційних ресурсів вуглеводневої сировини, насамперед, сланцевого газу. Основною метою цієї роботи є аналіз існуючих методів пошуків, визначення найважливіших факторів і критеріїв оцінки нетрадиційних родовищ вуглеводнів, розробка сучасних методів їх геолого-економічної оцінки.

Проаналізовано сучасні методи та методики пошуків і геолого-економічної оцінки нетрадиційних ресурсів вуглеводневої сировини. Визначено основні фактори локалізації та критерії прогнозу нетрадиційних покладів вуглеводнів, пов'язаних із сланцевими товщами і ущільненими колекторами, до яких належать площа сланцевого басейну, глибина залягання продуктивних товщ, товщини сланцевих горизонтів, умови утворення, вік вміщуючих порід, особливості залягання, структурні особливості, літологічний склад, мінералого-геохімічні особливості, ступень катагенезу (термічна зрілість порід), вміст органічної речовини (ОР), кількість органічного вуглецю ($C_{орг}$), загальна пористість і проникність, підвищена тріщинуватість порід, маловодність продуктивної товщі.

Розроблено оптимальну методику геологорозвідувальних робіт (ГРР) для вибору потенційно газонасних сланцевих товщ, яка повинна мати стадійний характер, включати ряд етапів і стадій з поступовим збільшенням детальності досліджень, ступеня обґрунтованості можливих ресурсів корисних копалин, виділенням все більш локальних об'єктів і обґрунтуванням доцільності їх подальшого вивчення. Запропоновано роботи з вивчення проблем нетрадиційних вуглеводнів проводити в три етапи: початковий, деталізаційний, оціночний.

Охарактеризовано додаткові параметри кількісної оцінки ресурсів нетрадиційного газу в ущільнених породах. Наведено регіональні та локальні складові визначення оцінки ймовірності наявності вуглеводнів. Запропоновано враховувати показник диференціації перспективних площ за складністю геологічної будови, показники вірогідності, які визначають ймовірність підтвердження ресурсної бази сланцевого газу, як додаткові показники запропоновано використовувати коефіцієнт заповнення пастки, коефіцієнт тріщинуватості, показник диференціації перспективних площ за складністю геологічної будови, показник ймовірності підтвердження. Наведено основні дані щодо прогнозних ресурсів нетрадиційних вуглеводнів нафтогазоносних регіонів (НГР) України, визначено основні завдання подальших досліджень з їх оцінки.

Ключові слова: нетрадиційні родовища вуглеводнів, пошуки, фактори і критерії, геолого-економічна оцінка.

Постановка проблеми. Енергетичні ресурси України значно виснажені багаторічною експлуатацією її надр як основного джерела енергетичної сировини спочатку Російської імперії, а потім СРСР (вугілля Донбасу, газ Шебелинки, нафта Прикарпаття і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ)). Саме тому інтенсифікація ГРР на усі види енергетичної сировини є не тільки актуальною для нашої країни, але й життєво необхідною для її національної безпеки. Однією з альтернативних можливостей нарощування енергетичного потенціалу є пошуки та оцінка нетрадиційних родовищ вуглеводнів, до яких належать сланцевий газ; газ ущільнених порід-колекторів; сланцева нафта; метан вугільних родовищ; газові поклади імпактних структур; газогідрати. На території України є перспективи відкриття нетрадиційних родовищ вуглеводнів всіх перерахованих типів, що обумовлює актуальність розробки раціональної методики їх пошуків і геолого-економічної оцінки.

Аналіз попередніх досліджень. Починаючи з 2010 р. ряд творчих колективів, зокрема, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, НАК "Нафтогаз України", ДП "Науканафтогаз", Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, інших установ і підприємств проводить дослідження проблеми нетрадиційних ресурсів вуглеводнів в Україні. Об'єктом досліджень були геологічні структури і стратони України, перспективні на виявлення покладів нафти і газу в низькопроникних породах (сланцях, аргілітах, алевролітах і пісковиках), які раніше вважалися або флюїдоупорами, або неколекторами і ніколи не розглядалися як можливе джерело вуглеводнів. Основною метою досліджень було виявлення, вивчення, аналіз і геотехнічна оцінка найбільш перспективних на пошуки нетрадиційних вуглеводнів об'єктів з метою їх подальшого детального дослідження. Зібраний значний новий фактичний матеріал по геологічній будові, структурним особливостям, літологічному, мінеральному і

петрографічному складу потенційно нафтогазоносних порід, їх петрофізичним властивостям і нафтогазогенерационному потенціалу, компонентному складу вуглеводнів і співвідношенню їх ізоотопів. В результаті досліджень підготовлений ряд наукових праць, найбільш капітальним з яких є 8-томна монографія "Нетрадиційні джерела вуглеводнів України" [6-12].

Основною метою цієї статті було, на основі набутого досвіду досліджень, показати особливості пошуково-оціночних робіт на нетрадиційні джерела вуглеводнів в умовах України, особливо на початкових стадіях досліджень.

Фактори локалізації та критеріїв прогнозу нетрадиційних покладів вуглеводнів, пов'язаних із сланцевими товщами і ущільненими колекторами:

- *площа сланцевого басейну* – тисячі км²;
- *глибина залягання продуктивних товщ* – не більше 3–4 тис.м;
- *товщини сланцевих горизонтів* – десятки, до сотень метрів, мінімальна товщина перспективного горизонту – 30 м;
- *умови утворення* – переважно морські осадові породи, рідше озерні сланці;
- *вік вмісних порід* – палеозойський, рідше мезозойський, дуже рідко кайнозойський;
- *особливості залягання* – переважно горизонтально залягаючи товщі, інколи пологоскладчасті;
- *структурні особливості* – наявність системи тріщинуватості;
- *літологічний склад* – осадові глинисті та алевроглинисті породи більш-менш однорідного складу: сланці, чорні сланці, горючі сланці, аргіліти, алевроліти (рис. 1 а, б); для ущільнених колекторів – алевроліти, пісковики;
- *мінералого-геохімічні особливості* – підвищена кількість SiO₂, піриту і різноманітних мікроелементів (Cu, Al, Cd, As, Pb, Hg, Co, Cr, Ni, V, Zn, U, Th, Ra²²⁶, Ra²²⁸, Rn);

- *ступень катагенезу (термічна зрілість порід)* – середня, від $МК_2$ ($R_o = 0,8$) до $АК_2$ ($R_o = 3,0$), температура генерації – більше 90°C ; високоперспективними є середня частина $МК_4$ – нижня частина $МК_5$ ($R_o = 1,35-2,0$); середньоперспективними – середня частина $МК_2$ – нижня частина $МК_4$ ($R_o = 0,80-1,34$) і верхня частина $АК_2$ ($R_o = 2,01-3,00$) (рис. 2);

- *вміст органічної речовини* – високий, понад 1% (рис. 3);

- *кількість органічного вуглецю* – значна, понад 1%;
- *загальна пористість і проникність* – низькі, нижня межа пористості 0,5–1,0%, проникності – 0,1 мД.

- *підвищена тріщинуватість порід* (рис. 4), але одночасно низька та помірна інтенсивність розвитку розривних порушень (висока ступінь їх розвитку знижує перспективність території);

- *маловодність* продуктивної товщі.



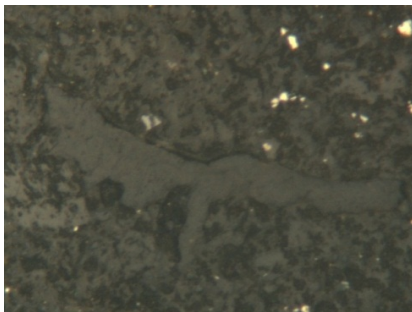
а



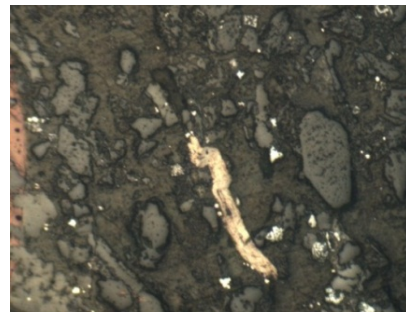
б

Рис. 1. Осадкові глинисті та алеврито-глинисті породи:

а – Гашинівська площа, С-3, інтервал 3544–3553 м, зр. 7 ГА – чорний сланець, D_3fr ; б – Південно-Коломацька площа, С-33, інтервал 5476–5484 м – чорні сланці



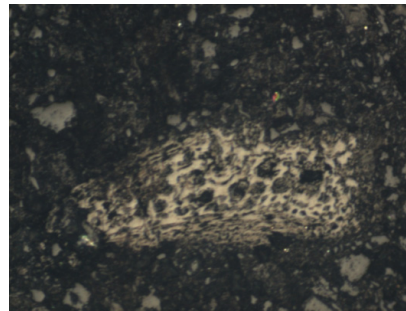
а



б



в



г

Рис. 2. Приклади термічної зрілості порід:

а – бітум в асоціації із вкрапленістю піриту. Аншліф 85 БК; б – вітродетриніт (антрацит) в асоціації з гематитом. Аншліф 81 БК; в – колотеленіт. Аншліф 103-АТ, св. Артемівська-1, глибина 3724 м, C_2m , аргіліт; г – фюзеніт, вітродетриніт. Аншліф. ЗЛ-5, св. Західно-Левенцівська-2, інт. 1420-1428 м, C_1s_1 , аргіліт



Рис. 3. Збагачений ОР чорний сланець (св. Ніжинська-338, обр. 61 НЖ, інт. 3075–3084 м, візейський ярус, $\times 10$)



Рис. 4. Мікротріщинки у шліфі 13 ЄВ ($\times 4$)

Методика пошуково-оціночних робіт. Оптимальна методика ГРП для визначення потенційно газоносних сланцевих товщ повинна мати стадійний характер, включати ряд етапів і стадій з поступовим збільшенням детальності досліджень, ступеня обґрунтованості можливих ресурсів корисних копалин, виділенням все більш локальних об'єктів і обґрунтуванням доцільності їх подальшого вивчення. Враховуючи це, пропонується роботи з вивчення проблем сланцевого газу проводити в три етапи: початковий, деталізаційний, оціночний.

Початковий етап повинен включати:

- збір, узагальнення та аналіз даних по світових ресурсах вуглеводнів, пов'язаних із сланцевими товщами та ущільненими колекторами: геологічна будова сланцевих басейнів і окремих родовищ, їх склад, літологічні та фаціальні особливості газовмісних порід і порід, що асоціюють із продуктивними сланцями, технологія розробки тощо;

- збір та аналіз геологічних і сейсморозвідувальних даних, матеріалів ГДС, аналіз матеріалів бурових і геофізичних робіт; визначення інтервалів відбору керну в пробурених свердловинах, в товщах порід з можливими неконвекційними покладами вуглеводнів, аналізів керна матеріалу, обробка та переінтерпретація сейсморозвідувальної інформації;

- геологічний і літолого-стратиграфічний аналіз потенційних структур і товщ сланцевих басейнів.

Основним результатом робіт початкового етапу є виділення різнорангових і різновікових об'єктів в межах України, перспективних на виявлення покладів сланцевого газу (регіональний прогноз).

Деталізаційний етап повинен включати:

- аналіз матеріалів буріння і ГДС, даних сейсморозвідки, вивчення та оцінка механічних властивостей гірських порід з перспективних розрізів свердловин;

- вивчення речовинного складу, петрофізичних, петрографічних, мінералогічних особливостей сланців, їх систематика і типізація як можливих газовмісних об'єктів;

- геохімічні дослідження зразків керну свердловин минулих років;

- петрофізичні дослідження порід (визначення густини, пористості, проникності, акустичних та електричних властивостей тощо);

- визначення вмісту ОР, ступені її катагенічних перетворень, закономірностей розподілу Сорґ. та інших елементів (зокрема, урану) по розрізу та за простяганням;

- вивчення ступеню термічної переробки порід, відбивної здатності вітриніту;

- вивчення форми знаходження і компонентного (ізотопного) складу вуглеводнів;

- аналіз можливостей геофізичних методів, зокрема 3D моделювання, для попередньої оцінки потенційного значення сланцевих і флішових формацій, як джерела вуглеводнів;

- розробка рекомендацій щодо проведення подальших досліджень;

Основним результатом робіт деталізаційного етапу є виділення конкретних об'єктів, перспективних на виявлення покладів сланцевого газу (локальний прогноз) і визначення першочергових напрямків ГРП.

Оціночний етап повинен включати:

- проведення сейсмічних досліджень 2D або 3D, з метою проектування свердловин у випадку недостатнього геологічного вивчення;

- дослідне буріння з відбором керну, геофізичними замірами, випробуваннями;

- буріння тестових свердловин (горизонтальних) з метою оцінки продуктивності покладів;

- створення геолого-геохімічних моделей родовищ вуглеводнів нетрадиційного типу;

- розробка наукових основ оцінки ресурсів і запасів вуглеводнів цих джерел;

- геолого-економічна оцінка доцільності використання нетрадиційних родовищ вуглеводнів;

- вибір першочергових ділянок для подальших ГРП;

- виконання на першочергових ділянках сейсморозвідувальних робіт методом 3D;

- обґрунтування пілотного проекту буріння свердловини з необхідним комплексом досліджень і випробувань.

Основним результатом оціночного етапу є прогноз на геолого-економічну оцінку виділених об'єктів і обґрунтування доцільності проведення пошуково-розвідувальних робіт.

Важливу роль в дослідженнях нетрадиційних ресурсів вуглеводнів має переінтерпретація матеріалів ГДС для оцінки вмісту ОР в нафтоматеринських породах, визначення зміни літології і складу насичувальних флюїдів. До сучасних методів свердловинної геофізики належать методики Carbolog і DlogR К. Пассі (рис. 5).

Аналітичні дослідження повинні включати такі основні види аналізів:

- спектральний і хімічний аналізи;

- вивчення ступеня термічного перетворення порід (відбивної здатності вітриніту);

- ізотопний аналіз вуглецю;

- газ-пірохроматографічний аналіз;

- визначення компонентного складу вуглеводнів;

- хіміко-бітумінологічні дослідження;

- газометричні дослідження;

- піроліз за методикою Rock-Eval;

- термічний аналіз (рис. 6);

- петрофізичні дослідження.

При проведенні геохімічних пошуків і прогнозуванні скупчень вуглеводнів застосовують наступні методи: газовий (газогеохімічний), гідрогеохімічний, літогеохімічний, біогеохімічний, бітумінологічний, методи ізотопної геохімії.

Принципи геолого-економічної оцінки нетрадиційних ресурсів вуглеводнів. Існуючі методики оцінки ресурсів сланцевого газу побудовані переважно на тих же принципах, що використовуються для оцінки традиційної вуглеводневої сировини [1, 3]. Головні кількісні та якісні параметри оцінки ресурсів базуються на класифікаційних ознаках, які використовують для категоризації ресурсів традиційної вуглеводневої сировини. Виділяються такі категорії ресурсів: перспективні ресурси С₃, прогнозні ресурси Д₁, прогнозні ресурси Д₂. Більшість методик оцінки ресурсів нетрадиційного газу базуються на використанні об'ємного методу підрахунку запасів. Показниками, які необхідні для підрахунку об'ємним методом у газових родовищах, є наступні:

- площа газонасності;

- ефективна та газонасичена товщини і об'єм газонасичених порід;

- середні коефіцієнти відкритої пористості, тріщинуватості, кавернозності, газонасиченості;

- початкові і поточні пластові тиски та умови замірів, їх середні значення;

- поправки на температуру і відхилення від закону Бойля-Маріотта;

- середній вміст конденсату у газі;

- коефіцієнт, що враховує мольну частку "сухого" газу.

Для розрахунку ресурсів сланцевого газу використовується формула:

$$V_{\text{геол}} = F \times h \times K_n \times K_g \times f \times K_p,$$

де $V_{\text{геол}}$ – геологічні ресурси газу; F – площа підрахункової ділянки; h – потужність колектора (ефективна); K_n – коефіцієнт пористості; K_g – коефіцієнт газонасиче-

ності; f – поправка на температуру для приведення об'єму газу до стандартної температури; K_p – поправка на тиск для приведення об'єму газу до об'єму при стандартному тиску.

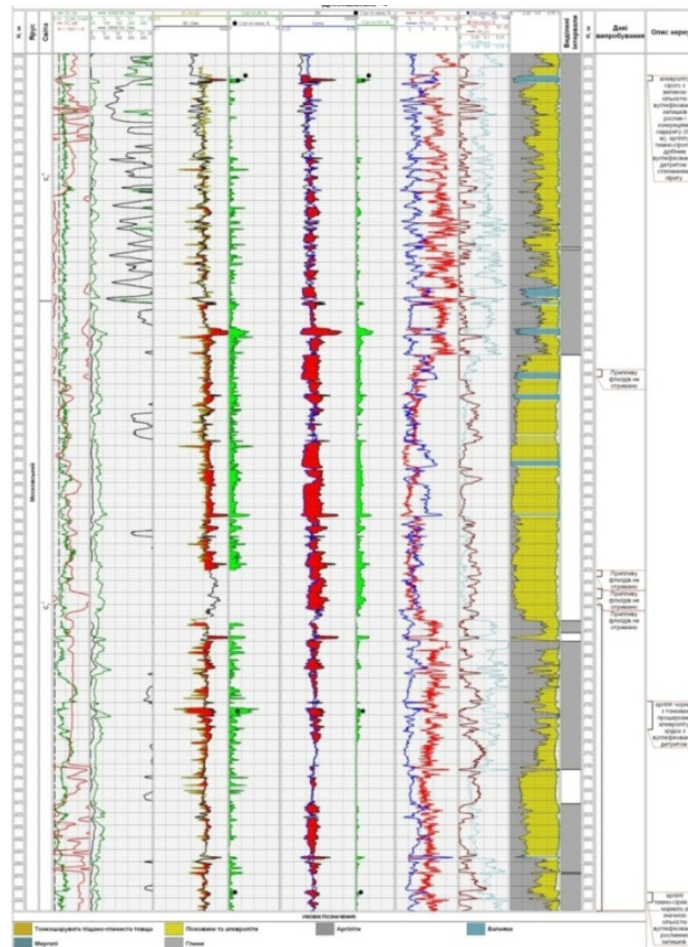


Рис. 5. Промислово-геофізична характеристика та результати кількісної переінтерпретації даних ГДС в розрізі св. Дробишівська-4 (фрагмент)

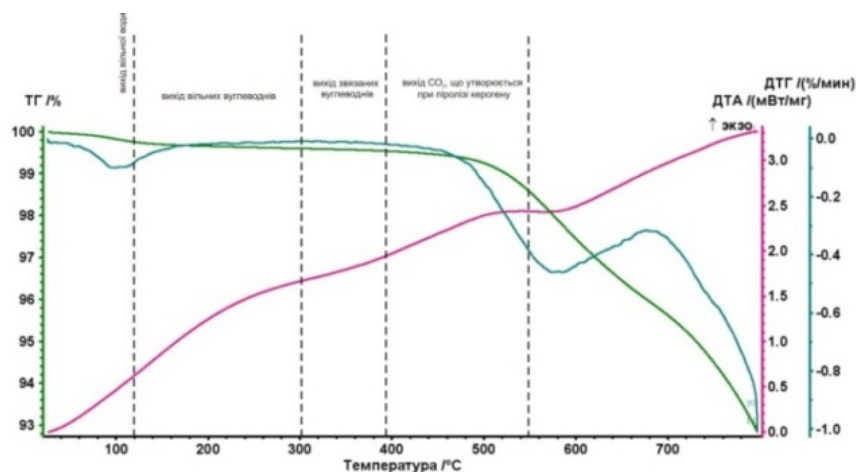


Рис. 6. Термограма зразка Ліщинська-47:

ТГ – термогравіметрична крива; ДТГ – диференційно-термогравіметрична крива;
3 – ДТА – крива диференційно-термогравіметричного аналізу

Для переведення геологічних ресурсів газу у видобувні використовують коефіцієнт вилучення газу $K_{\text{вил.}}$, який для традиційних газових родовищ приймається рівним 0,85, а для нетрадиційних коливається в межах 0,25–0,50. Використовують також інші абсолютні та відносні показники, які характеризують перспективність оцінюваної площі:

- вміст газу – відношення об'єму газу (в м^3 або куб. фут) на масу порід (в тонах);
- щільність ресурсів газу – відношення об'єму газу на одиницю площі;
- денна продуктивність свердловини (для розвіданих родовищ) та ін.

Додаткові параметри кількісної оцінки ресурсів нетрадиційного газу [5]. За різними оцінками ресурси сланцевого газу в Україні коливається від 1–2 до 20–25 трлн м³. Така різниця в оцінках обумовлена насамперед відсутністю фактичного матеріалу; ймовірнісним характером багатьох показників, закладених в розрахунках, а також відмінностями у вітчизняних і закордонних методиках оцінки. Так, вітчизняні оцінки коливаються в межах 10–25 трлн м³, а найменші значення 1,2 трлн м³ подані в матеріалах агенції EIA [14].

В закордонних методиках використовують додаткові коефіцієнти (як правило, знижуючи), які враховують якісні характеристики оцінюваних площ. Зокрема, програмний продукт FASPUM нерозвідані ресурси вільного газу оцінює, виходячи із наступної формули:

$$Q_g = 43,560 A F H \Phi (1 - S_w) (P_c / T) (1 / Z) (T_{sc} / P_{sc}),$$

де A – площа пастки, F – коефіцієнт заповнення пастки, H – потужність резервуару, Φ – ефективна пористість колектора, S_w – водонасиченість резервуару, P_c – початковий тиск, T – пластова температура, Z – коефіцієнт стиснення газу, T_{sc} – стандартна температура, P_{sc} – стандартний тиск.

Програмний продукт дозволяє визначати нерозвідані ресурси з урахуванням 14-ти ймовірностей та 7 геологічних ознак. Ймовірності розділені на 2 групи: регіональні – ті, що характеризують ймовірність наявності вуглеводнів (ВВ) на території тектонічного елемента та локальні – ймовірність наявності покладу ВВ у локальному об'єкті тектонічного елемента.

Оцінка ймовірності наявності вуглеводнів на території тектонічного елемента включає визначення складових: наявність джерел ВВ; час формування пасток; міграція ВВ; наявність колекторів; загальна перспективність тектонічного елемента (добуток ймовірностей 1, 2, 3, 4); ймовірність наявності покладу ВВ у локальному об'єкті (добуток ймовірностей 8, 9, 10 з другої групи); літологія резервуара (теригенний чи карбонатний);

Оцінка ймовірності наявності покладу ВВ включає визначення наступних складових: наявність пастки; ефективна пористість; акумуляція ВВ; частка газу; частка нафти; коефіцієнт вилучення нафти (%); коефіцієнт вилучення газу (%).

В наведеній вище формулі привертає увагу коефіцієнт заповнення пастки (F), який надає кількісну оцінку вуглеводневого заповнення пасток. Його використання обґрунтоване наступним. По-перше, від наявності даних про заповнення ВВ пасток продуктивних горизонтів і стратиграфічних комплексів багато в чому залежить наукове обґрунтування ГРП. По-друге, особливості будови різних типів пасток і коефіцієнтів їх заповнення ВВ, визначені за матеріалами розвіданих покладів, дають змогу використовувати ці дані при оцінці нафтогазоносності конкретних перспективних структур на невивченій території.

В роботі [2] визначені коефіцієнти заповнення пасток продуктивних горизонтів фанерозою ДДЗ, які становлять: для кам'яновугільних відкладів – 0,53, нижньопермських – 0,70, юрських – 0,26, фанерозойських – 0,50. Пастки основних нафтогазоперспективних нижньокам'яновугільних відкладів мають середній коефіцієнт заповнення 0,53 (нафтою – 0,38, газом – 0,54). Заповнення вуглеводнями пасток різних типів структур неоднакове. Середній коефіцієнт заповнення пасток наскрізних структур становить 0,53 (нафтою – 0,36; газом – 0,57), у тому числі антиклінальних пасток на брахіанкліналях – 0,51 (нафтою – 0,36; газом – 0,56) і неанклінальних на геміанкліналях – 0,60 (газом). Антиклінальні пастки на похованих брахіанкліна-

лях характеризуються середнім коефіцієнтом заповнення, рівним 0,47 (нафтою – 0,46, газом – 0,48). Визначені показники можуть використовуватися для коригування формул оцінки ресурсів введенням додаткового коефіцієнту.

Важливу роль при оцінці ресурсів сланцевого газу та визначенні їх видобувної частини відіграють **технологічні фактори**. У загальному коефіцієнті вилучення вуглеводнів із надр враховують технології видобутку і виробничо-технологічні втрати вуглеводнів. При видобутку вуглеводневої сировини нетрадиційного типу використовують технології горизонтального або похило-спрямованого буріння (directional drilling), гідравлічного розриву пласта (hydraulic fracturing) та 3D-сейсмічного моделювання покладів. Ці методи дозволяють отримати високий, комерційно привабливий дебіт газу зі свердловин.

Для нетрадиційних видів вуглеводнів важливим фактором, який може суттєво впливати на продуктивність свердловин, є **коефіцієнт тріщинуватості**, від якого залежать колекторські властивості порід. Розвиток тріщинуватості значною мірою визначає концентрацію запасів вуглеводнів, які часто розміщені вздовж тектонічних порушень, особливо в зонах їх перетинів, зон максимального розвитку тріщинуватості. Коефіцієнт тріщинуватості встановлюється окремо для кожного об'єкту (перспективна площа, її ділянки тощо).

При оцінці ресурсів вуглеводнів нетрадиційних видів доцільно вводити поправочний коефіцієнт на **складність геологічної будови** площі. Складність геологічної будови ускладнює підрахунок видобувних ресурсів. Для визначення цього коефіцієнту можна рекомендувати загальноприйняту класифікацію, яка використовується в чинних нормативних документах [1, 3, 4]. За складністю геологічної будови, умовами залягання і мінливості властивостей продуктивних пластів виділяються поклади:

- простої будови, продуктивні пласти яких характеризуються витриманістю товщини і колекторських властивостей у плані і в розрізі (K піщанистості $>0,7$, K розчленування $<2,6$);
- складної будови зі значною мінливістю товщини і колекторських властивостей продуктивних пластів у плані і в розрізі, з літологічним заміщенням колекторів слабопроникними породами, наявністю тектонічних порушень (K піщанистості $<0,7$, K розчленування $>2,6$);
- дуже складної будови, де характерні літологічні заміщення, тектонічні порушення, невитриманість товщини і колекторських властивостей продуктивних пластів.

При проведенні початкової геолого-економічної оцінки і розрахунку видобувних ресурсів можна також використовувати показники вірогідності, які визначають ймовірність підтвердження ресурсної бази сланцевого газу [5]. Зокрема, для покладів різних родовищ показники вірогідності можуть коливатися від 12% (формація SanAlfredo в Панамі) до 75% (формації MuakwaOtorPark і MontneyShale в Канаді). Для ресурсів сланцевого газу ДДЗ цей показник є низьким і складає 16%, що підвищує ризик проведення ГРП.

Для удосконалення методик підрахунку нерозвіданих ресурсів сланцевого газу можна використовувати додаткові параметри (табл. 1), які відображають геологічні та технологічні аспекти їх видобутку [5].

Таблиця 1

Додаткові показники при розрахунку нерозвіданих ресурсів сланцевого газу

Назва показника	Мета та особливості визначення та розрахунку
Коефіцієнт заповнення пастки	Вдосконалення коефіцієнту вилучення газу з врахуванням геологічних особливостей освоєння сланцевого газу. Визначення окремо по перспективним площам або їх ділянкам
Коефіцієнт тріщинуватості	Вдосконалення коефіцієнту вилучення газу з врахуванням технологічних особливостей освоєння сланцевого газу. Визначення окремо по перспективним площам або їх ділянкам
Показник диференціації перспективних площ за складністю геологічної будови	Врахування непідтвердження видобувних ресурсів в складі геологічних через наявність ускладнень будови ділянки
Ризик/ймовірність підтвердження	Врахування геолого-економічних характеристик залежно від ступеня геологічного вивчення достовірності даних

Висновки.

1. Методика досліджень нетрадиційних ресурсів вуглеводнів повинна включати такі складові частини:

- вивчення світового досвіду досліджень нафтогазоносних сланцевих порід;
- аналіз матеріалів раніше проведених досліджень, включаючи буріння;
- вивчення і опробування керну свердловин;
- вивчення мінерального і петрографічного складу порід (опис шліфів і аншліфів);
- петрофізичні дослідження порід (густина, пористість, проникність тощо);
- вивчення вмісту та закономірностей розподілу ОР та інших компонентів;
- вивчення ступеню термічної переробки порід (відбивна здатність вітриніту);
- вивчення компонентного та ізотопного складу газів;
- переінтерпретація матеріалів ГДС.

2. Для підрахунку ресурсів нетрадиційного газу передбачені такі параметри:

- площа газонасності;
- ефективна та газонасичена товщини та об'єм газонасичених порід;
- коефіцієнти відкритої пористості, тріщинуватості, кавернозності, газонасиченості;
- початкові та поточні пластові тиски;
- поправки на температуру і відхилення від закону Бойля-Маріотта;
- середній вміст конденсату в газі;
- коефіцієнт, що враховує мольну частку "сухого" газу.

Додатковими показниками та коефіцієнтами можуть слугувати:

- коефіцієнт заповнення пастки;
- коефіцієнт тріщинуватості;
- показник диференціації перспективних площ за складністю геологічної будови;

- ризик / ймовірність підтвердження.

3. Перспективними стратиграфічними комплексами нетрадиційних ресурсів вуглеводнів в Україні є: в Східному НГР: верхньодевонський, нижньо-, середньо- і верхньокам'яновугільні; в Західному регіоні: кембрійський, силурійський, олігоцен-міоценовий; в Південному регіоні: девонський, кам'яновугільний, тріас-юрський, апт-альбський, олігоцен-міоценовий.

4. Перспективними площами на сланцевий газ в Східному НГР є Артемівська, Гашинівська, Євгенівська і Зачепилівська. Продуктивні товщі на них представлені чорними сланцями, аргілітами та алевролітами з прошарками пісковиків верхнього девону – нижнього карбону. Для цих площ попередньо оцінені прогнозні ресурси газу категорії Д₂ в кількості (млрд м³): Артемівська – 600; Гашинівська – 128; Євгенівська – 320; Зачепилівська – 210.

5. В Східному НГР в північно-західній частині ДДЗ виділяється ряд площ і горизонтів, перспективних на виявлення покладів сланцевої нафти:

- візейська товща чорних вуглефікованих аргілітів Ніжинської площі товщиною 41 м, вміст ОР – 4,23%, Сор_г – 6,13–7,77%, R_o – 0,95–1,70, пористість – 0,7–2,2%;
- серпуховська товща аргілітів з шарами алевролітів і пісковиків Хорольської площі товщиною 42–183 м, вміст Сор_г – 2,99–3,54%, R_o – 1,00–1,08, пористість – 8,0–8,2%;
- візейська товща перешарування аргілітів і алевролітів Хорольської площі товщиною 42–115 м, Сор_г – 3,95–5,53 %, R_o – 1,03–1,74, пористість – 10,5%;
- фаменська товща аргілітів Кінашівської площі товщиною 23–124 м, Сор_г – 1,15–4,43%, R_o – 1,07, пористість – 3,2–8,9%.

Загальні ресурси сланцевої нафти Східного НГР за аналогією з формацією Баккен Північної Америки оцінюються в 2–2,5 млрд бар. (280–350 млн т).

6. Прогнозні ресурси вуглеводнів нетрадиційного типу в межах України наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Прогнозні ресурси вуглеводнів нетрадиційного типу в межах України

Сланцевий газ:	Сланцева нафта:
Східний НГР – 10–14 трлн м ³ Західний НГР – 1–4 трлн м ³ Південний НГР – 2–7 трлн м ³ Всього – 13–25 трлн м ³	Східний НГР – 300–350 млн т Західний НГР – 50–100 млн т Південний НГР – 150–200 млн т Всього – 500–650 млн т
Газ ущільнених порід-колекторів:	Метан вугільних родовищ:
Східний НГР – 3–8 млрд м ³ Західний НГР – 1–3 трлн м ³ Всього – 4–11 трлн м ³	Донецький вугільний басейн – 3,5 трлн м ³ Львівсько-Волинський вугільний басейн – 0,5 трлн м ³ Всього – 4 трлн м ³

Певні перспективи газонасності можуть бути також пов'язані з імпактними структурами і з газогідратами Чорного моря. Однак, треба мати на увазі, що реальні видобувні ресурси покладів вуглеводнів нетрадиційного типу будуть набагато меншими і, скоріш за все, не бу-

дуть перевищувати 10 % від прогнозованих. Справа в тім, що структура перспективних територій являє собою подібність "слоеного пирога", з неодноразовим повтором у розрізі продуктивних комплексів лінозоподібної форми, які можуть стоншуватися і виклинуватися по

простягання, з такими частинами розрізу, де вміст газу порівняно низький і не становить економічного інтересу (рис. 7). Тобто, сланцевим газом в тій чи іншій мірі насичений весь розріз девону і карбону ДДЗ, це все є гігантський газонасний басейн, але різні його частини, як і різні частини розрізу насичені газом в різному ступені.

Тому питання наявності покладів сланцевого газу для ДДЗ має не стільки геологічний, скільки геолого-економічний характер. Головним завданням є визначення найперспективніших для розробки ділянок розрізу, де видобуток газу може бути найдоцільнішим (площа, товщина, геохімічні показники тощо).

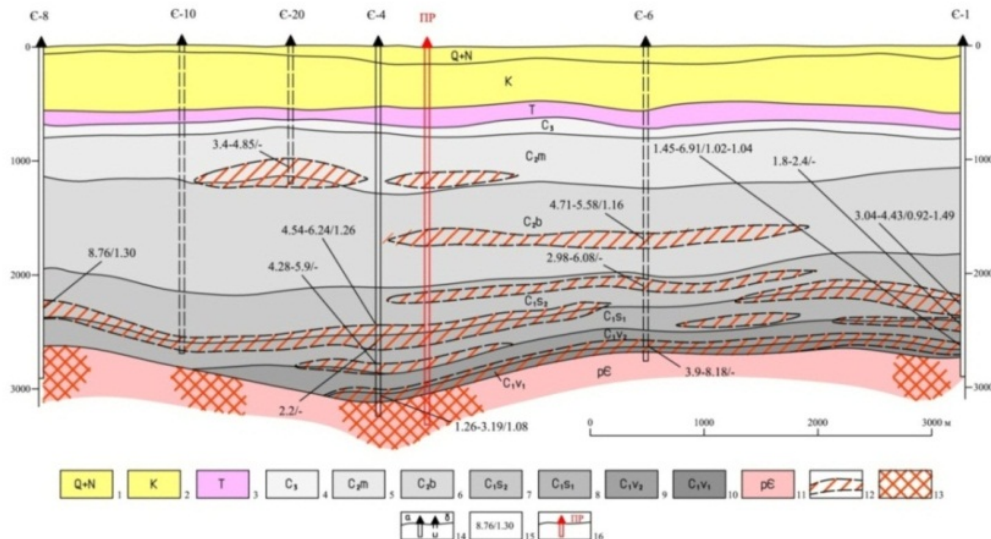


Рис. 7. Модель будови сланцевогазових покладів Євгеніївської ділянки

- 1 – кайнозой; 2 – крейда; 3 – триас; 4 – верхній карбон; 5–6 – середній карбон, московський (5) і башкирський (6) яруси; 7–10 – нижній карбон, верхньо- (7) і нижньосерпухівський (8), верхньо- (9) і нижньовізейських (10) під'яруси; 11 – докембрій; 12 – сланцевогазові поклади; 13 – зони розуцільнення в породах фундаменту, сприятливі для накопичення газу; 14 – свердловини в площині розрізу (а), їх проекції (б); 15 – в чисельнику – вміст C_{org} , в знаменнику – значення відбитої здатності витримувати; 16 – проектна свердловина

Список використаних джерел

1. Вивчення фізичних властивостей гранулярних порід-колекторів до підрахунку запасів нафти і газу об'ємним методом: методичні вказівки / ДКЗ України, ЛВ УкрДГРІ. – Київ-Львів, 2010. – 42 с.
2. Демяненко І.І. Особливості розподілу покладів вуглеводнів в гіпсометричних поверхнях нафтогазоносності фанерозою Дніпровсько-Донецької западини та основні принципи їх пошуків і розвідки: автореф. дис. ... доктора геол. наук: 04.00.17 / І.І. Демяненко – К., 1998. – 39 с.
3. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу – Наказ ДКЗ України N 46 від 10 липня 1998 р.
4. Методичні вказівки з оцінки ресурсів газу сланцевих товщ – Наказ ДКЗ України № 625 від 29 грудня 2012 р.
5. Михайлов В. Принципи геолого-економічної оцінки нетрадиційних ресурсів вуглеводнів / В. Михайлов, М. Курило, О. Андреева // Вісник КНУ. Геологія. – 2014. – № 1 (65). – С. 31–35.
6. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. I. Нетрадиційні джерела вуглеводнів: огляд проблеми / І.М. Куровець, В.А. Михайлов, О.Ю. Зейкан та ін. – К.: Ніка-центр, 2014. – 208 с.
7. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. II. Західний нафтогазоносний регіон / Ю.З. Крупський, І.М. Куровець, Ю.М. Сеньковський та ін. – К.: Ніка-центр, 2014. – 400 с.
8. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. III. Південний нафтогазоносний регіон / В.А. Михайлов, І.М. Куровець, Ю.М. Сеньковський та ін. – К.: ВПЦ Київський університет, 2014. – 215 с.
9. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. IV. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження / В.А. Михайлов, С.А. Вижва, В.М. Запніто та ін. – К.: ВПЦ Київський університет, 2014. – 431 с.
10. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. V. Перспективи освоєння ресурсів сланцевого газу та сланцевої нафти у Східному нафтогазоносному регіоні України / С.Г. Вакарчук, О.Ю. Зейкан, Т.Є. Довжок та ін. – К.: ТОВ "ВТС ПРИНТ", 2013. – 240 с.
11. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. VI. Перспективи освоєння ресурсів уцільненого газу у Східному нафтогазоносному регіоні України / С.Г. Вакарчук, Т.Є. Довжок, К.К. Філюшкін та ін. – К.: ТОВ "ВТС ПРИНТ", 2014. – 208 с.
12. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. VII. Метан вугільних родовищ, газогіддрати, імпакти структури і наклади западини Українського щита / В.А. Михайлов, О.Ю. Зейкан, А.М. Коваль та ін. – К.: Ніка-центр, 2013. – 368 с.
13. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. VIII. Теоретичне обґрунтування ресурсів нетрадиційних вуглеводнів осадових басейнів України / В.А. Михайлов, С.Г. Вакарчук, О.Ю. Зейкан та ін. – К.: Ніка-центр, 2014. – 280 с.

14. U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Review. – Режим доступу: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr87414B>.

References

1. Study of the physical properties of granular reservoir rocks in the calculation of oil and gas volumetric method: Methodical instruction. (2010). DKZ Ukraini, LV UkrDGRI. Kyiv-Lviv, 42 p. [in Ukrainian].
2. Demjanenko I.I. (1998) Features of the distribution of hydrocarbons in the oil and gas hypsometric layers Phanerozoic Dnieper-Donetsk Depression, and basic principles of their prospecting and exploring: avtoref. dis. ... dr. geol. sci. : 04.00.17, Kyiv, 39p. [in Ukrainian].
3. Instruction for Mineral Resources Classification of State Fund of Mineral Resources of the geological-economic study of resources of perspective areas and reserves of oil and gas. (1998). Order of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources N 46 from July 10, 1998. [in Ukrainian].
4. Methodological guidelines for estimation of shale gas resources strata. Методичні вказівки з оцінки ресурсів газу сланцевих товщ. (2012). Order of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources N 625 of December 29, 2012. [in Ukrainian].
5. Mykhailov V., Kurilo M., Andreeva O. (2014). Unconventional Hydrocarbon Resources: Geological and Economic Evaluation. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kiev. Geology, 1 (65), 31–35. [in Ukrainian].
6. Kurovets I.M., Mykhailov V.A., Zeikan O.Yu., Krupsky Yu.Z. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 1. Unconventional source of hydrocarbons: problem review. K.: Nika-centre, 208 p. [in Ukrainian].
7. Krupsky Yu.Z., Kurovets I.M., Senkovsky Yu.M., Mykhailov V.A. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 2. Western gas-bearing region. K.: Nika-centre, 400 p. [in Ukrainian].
8. Mykhailov V.A., Kurovets I.M., Senkovsky Yu.M., Vyzva S.A. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 3. South oil-gas-bearing region. K.: PPC "Kiev University", 222 p. [in Ukrainian].
9. Mykhailov V.A., Vyzva S.A., Zagnitko V.M., Ogar V.V. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 4. Eastern oil-gas-bearing region. Analytical investigations. K.: PPC "Kiev University", 424 p. [in Ukrainian].
10. Vacarchuk S.G., Zeikan O.Yu., Dovzhok T.E., Mykhailov V.A. et al. (2013). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 5. Development potential of shale gas and shale oil resources in Eastern oil-gas-bearing region of Ukraine. K.: "VTS Print", 240 p. [in Ukrainian].

11. Vacarchuk S.G., Dovzhok T.E., Filyushkin K.K., Kabyshev Y.B. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 6. Development potential of tight gas resources in the East Ukraine petroleum province. K.: "VTS Print", 208 p. [in Ukrainian].

12. Mykhailov V.A., Zeikan O.Yu., Koval A.M., Zagnitko V.M. et al. (2013). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 7. Coalbed methane, gas hydrates, impact structures and superimposed depressions of the Ukrainian Shield. K.: Nika-centre, 368 p. [in Ukrainian].

13. Mykhailov V.A., Vacarchuk S.G., Zeikan O.Yu., Kasyanchuk S.V. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: Monograph. In 8 books. Book 8. Theoretical substantiation of unconventional hydrocarbon resources in sedimentary basins of Ukraine. K.: Nika-centre, 280 p. [in Ukrainian].

14. U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Review. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr87414B>.

Надійшла до редколегії 10.06.16

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

PROSPECTION AND ESTIMATION OF UNCONVENTIONAL HYDROCARBON DEPOSITS IN UKRAINE

The article discusses problems of geological and economic evaluation of unconventional hydrocarbon resources, mainly shale gas. Purpose of work is analysis of the existing methods of evaluation and calculation of hydrocarbons reserves; determination of the most important factors and criteria of their evaluation. Modern methods of prospecting, geological and economic estimation of unconventional hydrocarbon resources are analyzed. The main factors of localization and prognosis criteria of unconventional hydrocarbon deposits associated with shale strata and sealed reservoirs are the size of shale basin area, depth of production formation, the thickness of the shale horizons, the age of host rocks, features of occurrence, structural, lithological, mineralogical and geochemical features (thermal maturity of species), high content of soil organic matter and organic carbon, total porosity and permeability, increased rate of rocks fracturing. All these searches about the problems of unconventional hydrocarbons should be carried out in three stages: initial, detailed and estimated. The basic formula for evaluation of shale gas resources is given, with additional parameters of quantitative evaluation of unconventional gas resources in the compacted rocks being characterized. The coefficients of filling traps for productive horizons of Dnieper-Donets Basin are given. These data are proposed to use as additional coefficients for formula correction. Factors that are important at the estimation of shale gas resources are examined. The most important factor for unconventional hydrocarbon types is the coefficient of fracturing, which largely affects the properties of collector rocks. The differentiation coefficient of perspective areas depending on complexity the geological structure is also proposed to be taken into account. Coefficients used for different regions of the world and the Dnieper-Donetsk region are shown. The coefficient of filling trap, the coefficient of fracturing, the differentiation coefficient of perspective areas depending on complexity the geological structure, the probability coefficients are the coefficients proposed to use as additional parameters for calculation unexplored resources of shale gas. Basic data about expected resources of shale gas in Eastern oil and gas region are shown.

Keywords: unconventional hydrocarbon deposits, prospecting, factors, criteria, geological and economic evaluation.

B. Михайлов, д-р геол. наук, проф., директор
E-mail: vladvam@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт Геологии", ул. Васильковская, 90, г.Киев, 03022, Украина

ПОИСКИ И ОЦЕНКА НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В УКРАИНЕ

Статья посвящена разработке рационального комплекса поисков и геолого-экономической оценки нетрадиционных ресурсов углеводородов, в первую очередь, сланцевого газа. Целью работы является анализ существующих методов поисков, определение важнейших факторов и критериев оценки нетрадиционных месторождений углеводородов, разработка современных методов их геолого-экономической оценки. Проанализированы современные методы и методики поисков и геолого-экономической оценки нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья. Определены основные факторы локализации и критерии прогноза нетрадиционных залежей углеводородов, связанных со сланцевыми толщами и уплотненными коллекторами, к которым относятся: площадь сланцевого бассейна, глубина залегания продуктивных толщ, мощность сланцевых горизонтов, условия образования, возраст вмещающих пород, особенности залегания, структурные особенности, литологический состав, минералого-геохимические особенности, степень катагенеза (термическая зрелость пород), содержание органического вещества, количество органического углерода, общая пористость и проницаемость, повышенная трещиноватость пород, маловодность продуктивной толщи. Разработана оптимальная методика геологоразведочных работ для выявления потенциально газоносных сланцевых толщ, которая включает ряд этапов и стадий с постепенным увеличением детальности исследований, степени обоснованности возможных ресурсов полезных ископаемых, выделением локальных объектов и обоснованием целесообразности их дальнейшего изучения. Предложено работы по изучению проблем нетрадиционных углеводородов проводить в три этапа: начальный, детализационный, оценочный. Охарактеризованы дополнительные параметры количественной оценки ресурсов нетрадиционного газа в уплотненных породах. Приведены региональные и локальные составляющие оценки вероятности наличия углеводородов. Предложено учитывать показатель дифференциации перспективных площадей по сложности геологического строения, показатели вероятности, которые определяют вероятность подтверждения ресурсной базы сланцевого газа, как дополнительные показатели, предложено использовать коэффициент заполнения ловушки, коэффициент трещиноватости, показатель дифференциации перспективных площадей по сложности геологического строения, показатель вероятности подтверждения ресурсов. Приведены основные данные о прогнозных ресурсах нетрадиционных углеводородов нефтегазоносных регионов Украины, определены основные задачи дальнейших исследований по их оценке.

Ключевые слова: нетрадиционные месторождения углеводородов, поиски, факторы и критерии, геолого-экономическая оценка.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 502.175:[556.3:550.424]:628.4.047(477-25)

О. Щербак, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
E-mail: scherbak_olesia@ukr.net;Т. Кошлякова, канд. геол. наук, наук. співроб.
E-mail: geol@bigmir.net;В. Долін (мол.), інж. I кат.
E-mail: vdolin@i.com.ua;І. Руденко, мол. наук. співроб.
E-mail: irina_mihalovna@ukr.net
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"
просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, 03680, УкраїнаЯ. Куцка, асп.
E-mail: yanusik1965@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 УкраїнаОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ
В ЗОНІ ВПЛИВУ КИЇВСЬКОГО СХОВИЩА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

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

Розглянуто сучасний стан системи радіогідрогеологічного моніторингу в зоні впливу Київського приповерхневого сховища радіоактивних відходів зі застосуванням гідрогеологічних, статистичних та геоінформаційних методів дослідження. За даними моніторингових спостережень (1992–2013 рр.) проаналізовано просторово-часову динаміку гідродинамічного режиму верхньочетвертинного-верхньоеоценового водоносного комплексу. Оцінено гідрогеофільтраційну досконалість спостережних свердловин за двома параметрами, а саме: досконалість розкриття фільтровою частиною ґрунтового водоносного горизонту (положення фільтру відносно рівня ґрунтових вод і літологія порід у фільтровій зоні) та величина водопровідності. Встановлено наявність тенденції до зниження рівня та зміни просторової конфігурації гідроізогіпс. Основна більшість спостережних свердловин є гідрогеофільтраційно недосконалими внаслідок штучної механічної кольматції фільтрової зони та конструкційних особливостей. Дані спостережень є малоінформативними та не відображають реального впливу сховища на навколишнє середовище.

На основі отриманих результатів зроблено висновок щодо необхідності оновлення та розширення існуючої системи моніторингу. Удосконалення системи моніторингу повинно виконуватись з врахуванням еволюції контурів тритієвого забруднення ґрунтових вод.

Ключові слова: моніторинг, підземні води, рівень ґрунтових вод, забруднення, радіоактивні відходи, тритій.

Вступ. Існуючим джерелом радіаційного забруднення навколишнього середовища в районі міста Києва є пункт захоронення радіоактивних відходів ДСП КДМСК УДО "Радон" на південній околиці міста (с. Пирогів). Сховище було споруджено у 1962 році для приймання радіоактивних відходів (РАВ) від організацій та підприємств з шести адміністративних областей та міста Києва.

Тверді радіоактивні відходи (ТРВ), що надходили на захоронення зберігались у сховищах заглибленого типу – прямокутні резервуари зі стінами і днищем з монолітного залізобетону. Серед накопичених відходів основну частку (≈85 % від загальної активності РАВ, станом на 01.01.2006 р.) складає тритій.

Проектний термін експлуатації сховищ Київського ДМСК УкрДО "РАДОН" становить 30 років і закінчився у 1992 році. Проте об'єкт продовжував функціонувати, що призвело до часткової розгерметизації сховищ, надходження атмосферних опадів до тіла захоронення та утворення гідрогеофільтраційного потоку води, забрудненої тритієм. Адже тритій, як ізотоп водню, здатний до інтенсивної водної міграції [8].

При проведенні радіогідрогеологічного моніторингу фахівцями Київського ДМСК УкрДО "РАДОН" в 1993 році було виявлено підвищені рівні вмісту тритію у підземних водах під сховищами ТРВ до $n \times 10^5$ Бк $\times$ дм $^{-3}$, які в подальшому зростали до $n \times 10^7$ Бк $\times$ дм $^{-3}$ (у 2003 р.), що в 1000 разів перевищує рівень діючого в Україні нормативу $ДК_{\text{Б}}^{\text{ingest}}$ (30000 Бк $\times$ дм $^{-3}$ [5]). Таким чином, з 1992 р. сховище функціонує в умовах радіаційної аварії. Після проведення відпompовування тритієвої води з аварійних сховищ (2008-2012 рр.), планові розміри площі аномалії забруднення підземних вод у контурі 30000 Бк $\times$ дм $^{-3}$ істотно зменшилися. Процес формування поля тритієвого забруднення четвертинного водоносного горизонту (ВГ) увійшов у рівноважну стадію [2].

Для визначення ступеня радіоекологічного впливу ДСП КДМСК УДО "Радон" на навколишнє середовище та запобігання подальшого загострення ситуації, першочерговим завданням є проведення науково обґрунтованого моніторингу за компонентами довкілля, які виступають природними бар'єрами на шляху міграції радіонуклідів: ґрунти, породи зони аерації, підземні води.

У даній статті авторами розглянуто сучасні проблеми моніторингових спостережень за станом підземних вод в зоні впливу сховищ Київського ДМСК УкрДО "РАДОН". Охарактеризовано склад та режим функціонування існуючої спостережної мережі зі застосуванням гідрогеологічних, статистичних та геоінформаційних методів дослідження.

Геолого-гідрогеологічні умови ділянки досліджень. В геоморфологічному відношенні територія пункту захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) та його санітарно-захисна зона розташовані на ерозійно-аккумулятивній рівнині (правобережжя р. Дніпро) з абсолютними відмітками території 100-150 м. Зменшення абсолютних відміток відбувається в північному напрямі, до долини струмка Віта, що протікає по днищу яру у 100 м північніше ПЗРВ.

Струмок Віта (абс. відм. 99-110 м) – ліва притока річки Віта, правої притоки р. Дніпро. Відстань від майданчика ПЗРВ до долини р. Дніпро з абсолютними відмітками 93-95 м приблизно 1,6 км на схід.

У геоструктурному відношенні район розміщення Київського ДМСК УкрДО "РАДОН" відноситься до північно-східного схилу Українського кристалічного щита. У будові осадового чохла беруть участь відклади четвертинної системи: алювіальні голоцену (аН), елювіальні, еолово-делювіальні верхнього неоплейстоцену (е, vd PIII); відклади новопетрівської світи полтавської серії міоцену (N_{1np}), кийської світи (P_{2kv}) і буцацької серії (P_{2bc}) еоцену [1]. Узагальнений розріз осадової товщі під КДМСК наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Узагальнений розріз осадової товщі під КДМСК (зверху вниз, потужності шарів усереднено)			
1.	Грунтово-рослинний шар	(eH)	до 0,5 м
2.	Лесовидний супісок палево-жовтий	(e, vd P _{III})	10,3 м
3.	Супісок жовтувато-коричневий	(e, vd P _{III})	5,0 м
4.	Пісок жовтувато-бурий	(e, vd P _{III})	3,4 м
5.	Суглинок бурувато-жовтий	(e, vd P _{III})	2,0 м
6.	Пісок пилюватий	(N _{1np})	2,5 м
7.	Наглинок зеленувато-сірий	(P _{2kv})	0,5 м
8.	Глина мергельна блакитно-сіра	(P _{2kv})	30 м

Представлена стратиграфічна колонка – це спрощена схема. Насправді, як вказує співставлення розрізу Пирогівського родовища цегляних глин (північно-східна окраїна с. Пирогів) та розрізу у межах КДМСК, палеоген-четвертинні товщі тут характеризуються складною геологічною будовою. Спостерігається висока фаціальна мінливість відкладів у розрізі та по латералі, різкі коливання потужностей у зонах обмежених ділянок, ерозійна порізаність кривлі багатьох водотривких та водоносних горизонтів.

У гідрогеологічному відношенні територія відноситься до Дніпровського артезіанського басейну [1]. На цій території до глибини, що досліджувалася, поширені такі водоносні горизонти (ВГ):

- ВГ у сучасних алювіальних відкладах заплав і днищ балок (aH);
- ВГ в еолово-делювіальних суглинках верхнього неоплейстоцену (e, vd P_{III});
- ВГ у новопетрівських відкладах полтавської серії міоцену (N_{1np});
- ВГ у відкладах верхньої частини київської світи еоцену (P_{2kv});
- ВГ у відкладах буцацької серії еоцену (P_{2bc}).

ВГ сучасних алювіальних відкладів приурочений до долин р. Дніпро та р. Віта. Водовміщуючі породи – піски з прошарками глинистих ґрунтів. Горизонт безнапірний, гідравлічно пов'язаний з водами рік. Живлення здійснюється, в основному, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а також підживлення водами інших горизонтів, що виклинюються в бортах долин і дренуються ріками і струмками. Горизонт не захищений від поверхневого забруднення.

У зв'язку з відсутністю витриманого слабопроникного шару між водоносними горизонтами у відкладах верхнього неоплейстоцену, новопетрівських та верхньої частини київської світи, вони утворюють єдиний водоносний комплекс (верхньонеоплейстоценово-еоценовий). Комплекс умовно захищений від поверхневого забруднення. Водовміщуючі відклади комплексу залягають на поверхні київських мергельних глин, які слугують водотривким шаром між верхньонеоплейстоценово-еоценовим водоносним комплексом та буцацьким ВГ. ВГ у буцацьких відкладах приурочений до пилюватих пісків та супісків. Глибина залягання горизонту коливається від 15 до 60 м в долині р. Дніпро. Води напірні, величина напору складає 6–10 м. Води живляться за рахунок перетікання з водоносних горизонтів, що залягають вище по розрізу, а в долині р. Дніпро, крім того, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Підземні води буцацького ВГ є основним джерелом централізованого водопостачання.

Локальні параметри гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами та механізм водообміну досі залишаються невизначеними; існують лише регіональні оцінки, які базуються на математичних моделях. Стратифіковані горизонти поширені не скрізь, можливі приховані відносно локальні водотривкі горизонти (лінзи та більш складні по формі тіла – зсувні, брекчії та ін.). Першим регіональним водотривком є мергелеві суглинки

та глини київської світи палеогену. Поверхня цих відкладів значною мірою визначає спрямованість стоку забруднених підземних вод.

Таким чином геолого-гідрогеологічні умови в районі розташування сховищ Київського ДМСК УкрДО "РАДОН" досить складні. Строканий літологічний склад порід, невитриманість потужності водовміщуючих та слабопроникних шарів у розрізі і по латералі, високий ступінь ерозійної порізаності – обумовили складний характер гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами, неоднорідну природну захищеність ґрунтових вод у просторі та, відповідно, різну швидкість радіальної та латеральної підземної міграції речовин.

Характеристика спостережної мережі за режимом підземних вод. Спорудження спостережної мережі за режимом підземних вод на території пункту захоронення радіоактивних відходів та у санітарно-захисній зоні виконано Київським інститутом вишукувань та досліджень "Енергопроект" у 1992–1993 рр. [6; 7]. Цільовим призначенням проведених робіт було буріння та обладнання стаціонарної спостережної мережі за режимом підземних та поверхневих вод, а також гамма-фоном ґрунтів у зоні аерації.

В ході виконання робіт було облаштовано 36 спостережних свердловин за станом підземних вод на три водоносні комплекси (горизонти): четвертинний, верхньочетвертинний-верхньо-еоценовий та буцацький. Відповідно нумерація свердловин має індекси "Н1", "Н2", "Н3".

Конструкції свердловин на різні ВГ деякою мірою відрізняються: буріння свердловин на четвертинний "Н1" і верхньочетвертинний-верхньо-еоценовий "Н2" водоносні горизонти здійснювалося діаметром 168 мм; початковий діаметр свердловин на буцацький водоносний горизонт 324 мм, робочий діаметр 168 мм; свердловини обладнані фільтровими колонами діаметром 108 мм (робочі колони вилучені).

Водоприйнятною частиною слугує фільтр діаметром 108 мм, з сіткою з нержавіючої сталі та гравійною обсыпкою. Довжина робочої частини 1-2 м, відстійника 0,5-1,4 м. Вище гравійної обсыпки простір між фільтровою та обсадною колонами затампонований глинистим матеріалом. Устя свердловин були забетоновані, оголовки обладнані кришками, свердловини огорожені.

Було розроблено рекомендації щодо частоти спостережень на початковому етапі моніторингу протягом року:

- замір рівня та температури підземних вод на майданчику ПЗРВ – 2 рази на місяць, у санітарно-захисній зоні – 1 раз на місяць;
- відбір води на хімічний аналіз – 1 раз на квартал;
- радіохімічний аналіз по всім спостережних точках – 2 рази на рік.

Моніторинг повинен здійснюватися за спеціально розробленою програмою.

Результати дослідження. В ході виконання досліджень було обстежено мережу спостережних свердловин за станом підземних вод системи радіаційного моніторингу ДСП КДМСК УДО "Радон" та оцінено її ефек-

тивність. Експериментально визначено гідрогеофільтраційні параметри спостережних свердловин як показника їх чутливості до змін рівнів і радіохімічних показників ґрунтового ВГ, проаналізовано просторово-часову мінливість поверхні дзеркала ґрунтових вод.

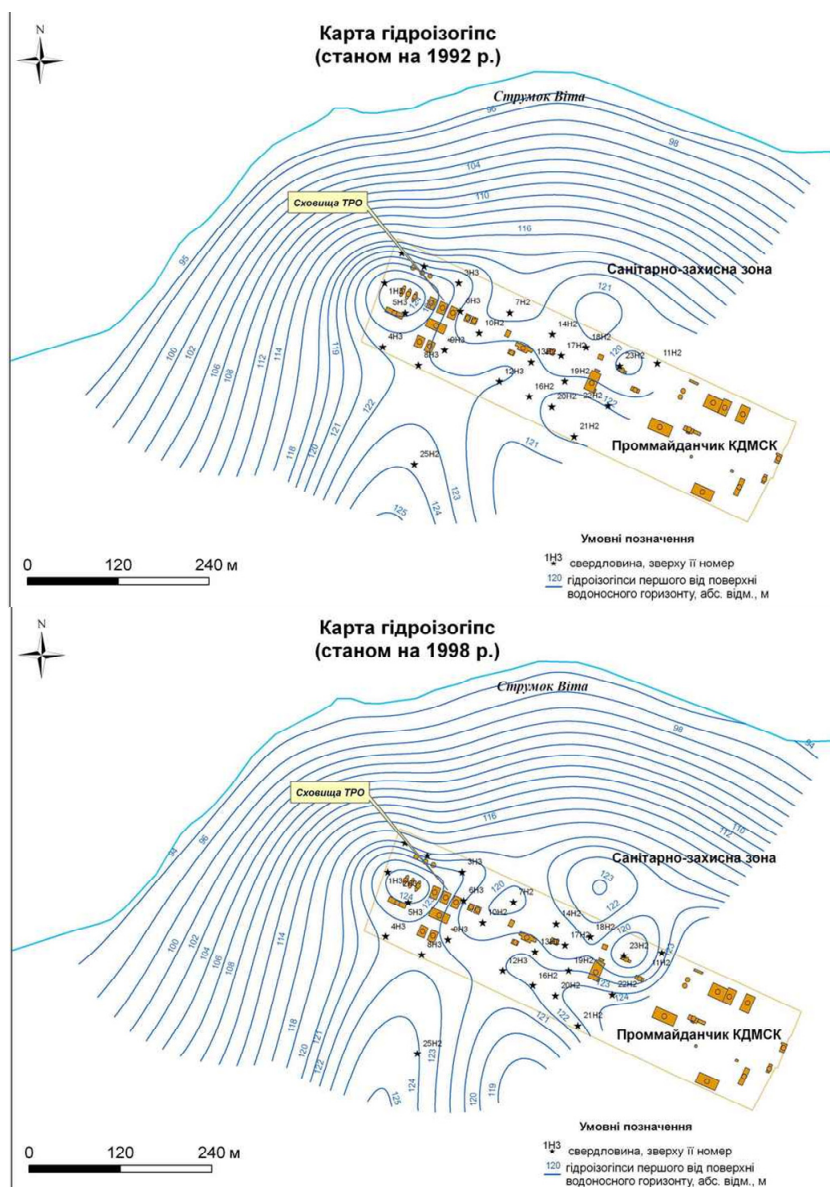
Динаміка гідродинамічного режиму верхньочетвертинного-верхньоеоценового водоносного комплексу на майданчику ПЗРВ та санітарно-захисній зоні вивчалась за даними режимних спостережень рівнів води у свердловинах системи моніторингу ДП КДМСК УДО "Радон" (1992–2008, 2011–2012 рр.) та власних замірів рівня у 2013 р.

Глибина залягання ґрунтових вод на досліджуваній ділянці коливається в межах від 0,1 до 25 м. Абсолютні відмітки дзеркала ґрунтових вод 93–130 м. Максимальні відмітки рівня ґрунтових вод (РГВ) зафіксовані безпосередньо на майданчику розташування сховищ радіоактивних відходів та обвалованих сховищ рідких радіоактивних відходів, де потужність зони аерації складає 19–25 м. Це пов'язано з напрямом потоку підземних вод та гіпсометрією поверхні землі. Адже джерела тритієвого забруднення розташовані в межах лесового останця – гіпсометрично підвищеної ділянки, тобто локальної області переважуючого низхідного інфільтраційного живлення ґрунтового ВГ. Розвантаження підземних вод на досліджуваній території відбувається розосереджено у

видляді джерел, мочажин та ін. у долину р. Віта та її притоків, яка розкриває регіональний слабопроникний шар мергелів київської світи верхнього еоцену. Активний дренаж ґрунтового ВГ долиною р. Віта та прилеглих балок обмежує латеральну міграцію потоку ґрунтових вод і наближує його структуру до радіальної.

За досліджуваний період (1992–2013 рр.) відбулося зниження рівня води в стовбурах спостережних свердловин від 0,5 до 4,60 м. Істотних змін зазнала поверхня дзеркала ґрунтових вод (рис. 1). Просторово-часову мінливість якої було досліджено зі застосуванням геоінформаційних технологій (ГІС), зокрема аналітичного модуля Spatial Analyst програми ArcGIS 9.3.

Апроксимацію просторового положення гідроізогіпс на різні часові періоди виконано за даними моніторингу з використанням методу сплайну. Даний метод апроксимації ефективно застосовувати для побудови гладких поверхонь, що плавно змінюються, в даному разі – поверхні ґрунтових вод. Адже він базується на основі математичної функції, що наслідую поділ кривої на ділянки, де точки прикладання сил поділяють область визначення кривої на відрізки. На кожному такому відрізку сплайн представляє параболу третього ступеню. Всі параболі разом (їх кількість співпадає з кількістю відрізків) створюють гладку безперервну криву [4].



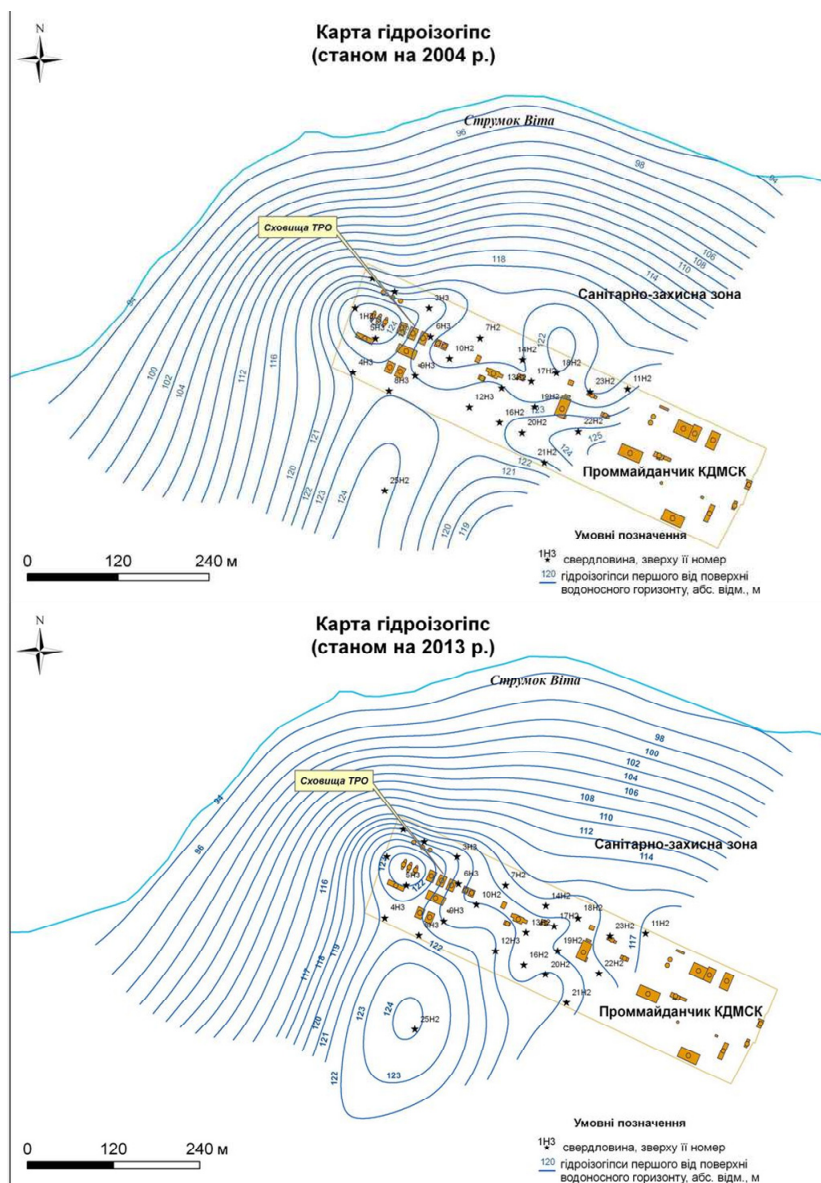


Рис. 1. Карти гідроізогіпс за даними режимних спостережень рівнів води у свердловинах системи моніторингу ДП КДМСК УДО "Радон"

Коливання РГВ досягають найбільших значень (до 4,5 м за період 1992-2013) безпосередньо на майданчику ПЗРВ, де зберігаються тритієві відходи (рис. 2). Спостережувана диференціація рівнів поверхні ВГ протягом 1992–2013 рр. (рис. 2), за умов збільшення річної кількості опадів у 2012 р. та 2013 р., свідчить про недосконалість облаштування спостережних свердловин та, можливо, недостовірності даних спостережень щодо радіоактивного забруднення підземних вод.

Тому була проведена додаткова оцінка змін щільності кореляційного зв'язку абсолютних відміток денної поверхні ($H_{\text{пов}}$) і середньорічних положень статичного рівня у спостережних свердловинах ($H_{\text{РГВ}}$) за період 1992–2013 рр. (рис. 3). Отримані значення коефіцієнту кореляції, в основному, змінюються в межах від 0,4 до 0,6. Для природних та слабопорушених умов рівень кореляційного зв'язку $H_{\text{РГВ}}=f(H_{\text{пов}})$ дорівнює 0,7-0,9 (за результатами багаторічних досліджень режиму рівнів в межах лісостепової зони України такими авторами, як М.А. Шкляревський, С.А. Рубан, Н.Г. Пишна та ін. у 1964-2012 рр.).

Максимальне значення R для 2013 р. за даними власного опробування може бути пов'язане зі збільшенням інфільтраційного живлення підземного стоку за

рахунок багатоводних 2012, 2013 рр.

Критичне зменшення R за даними 2011-2012 рр. до 2-3- разів ($R \approx 0,22$) може бути віднесене до системної помилки через недосконалість вимірів РГВ внаслідок штучної механічної колюматції порового простору піщано-суглинисто-глинистих порід.

Гідрогеофільтраційна досконалість спостережних свердловин визначалась за двома параметрами, а саме: оцінкою досконалості розкриття фільтровою частиною ґрунтового ВГ (положення фільтру відносно РГВ і літологія порід у фільтровій зоні) та величиною водопровідності.

Фонд спостережних свердловин на території досліджень має низку особливостей розкриття ґрунтового ВГ, який є основним "депо" і середовищем латерального руху інфільтраційних надходжень тритію. Так, у 50 % спостережних свердловин фільтри розташовані у зоні розвитку слабопроникних наглинків і суглинків, які здатні до активної колюматції прифільтрової зони. Внаслідок цього за умов відсутності періодичної активації свердловин методом желонування має місце утруднення і втрата гідрогеофільтраційного зв'язку у системі "стовп води у свердловині – порові води ВГ".

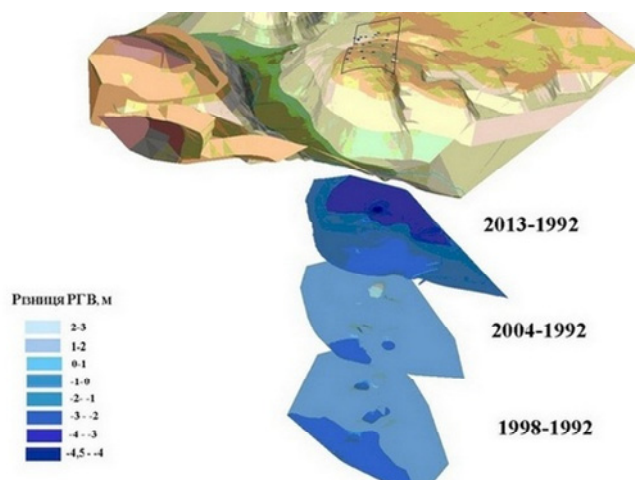


Рис. 2. Об'ємна модель еволюції поверхні ґрунтового ВГ (за різницею рівнів) у динаміці спостережень за рівнями води у свердловинах

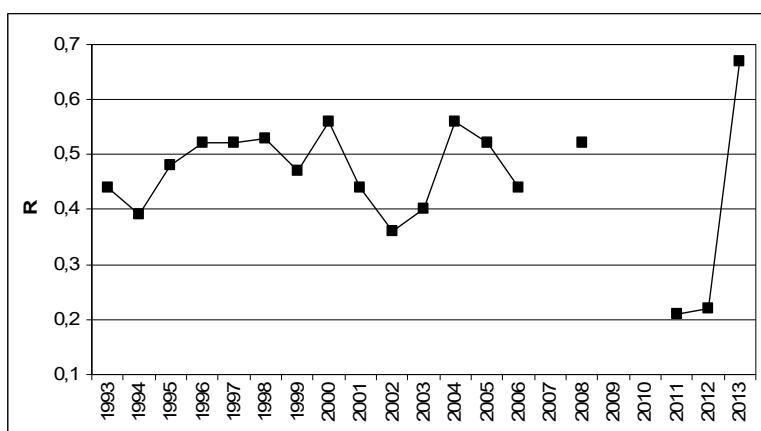


Рис. 3. Динаміка коефіцієнту кореляції між РГВ ($H_{РГВ}$) та абсолютними відмітками земної поверхні ($H_{Пов.}$)

У складі водоносних порід переважають дрібнозернисті, пілуваті і глинисті часточки, що сприяє розвитку процесів механічної і хімічної коагуляції фільтрів та зниженню їх чутливості до змін рівнів та вмісту тритію у ВГ.

Усі свердловини спостережної мережі мають малий діаметр (108 мм), зменшену довжину фільтрової зони (1,0-2,0 м) і низькі дебіти при желонуванні (десяті частки $дм^3/с$), що виключає інтенсивний вплив на ВГ у процесі відкачок (желонування) та практично виключає ефективне очищення прифільтрової зони від глинистих часточок.

Про зростаюче ускладнення гідрогеофільтраційного зв'язку фільтрових зон спостережних свердловин свідчить зниження рівня води у всіх спостережних свердловинах за період 1992-2013 рр.

Враховуючи вище перераховані конструкційні особливості свердловин та літологію порід у фільтровій зоні, дослідно-фільтраційні роботи проводились методом "вільного" наливу за наступною технологічною схемою:

1) подача води у свердловину виконувалися за схемою "знизу – вверх" по нагнітальному шлангу $\varnothing 20$ мм, який занурювався до відстійника з метою запобігання аерокоагуляції фільтрової зони;

2) ознакою стабілізації режиму наливу була прийнята зупинка або істотне уповільнення (до $см/с$) підйому (So^+) рівня води у свердловині.

Обробка даних зниження рівня води у свердловині (Si^+) у часі, враховуючи складний характер гідрогеофільтраційного поля у системі "фільтр-проникна фільтрова обсіпка-слабопроникні породи ВГ" виконувалась, за трьома залежностями: Дюпюї за схемою умовної стабілізації початку фільтрації у прифільтровій зоні, квазі-стабільного зниження рівня у часі за розрахунковими

схемами Тейса ($Si^- = f(lgt_i)$) та Бабушкіна-Біндемана ($lg(So^+_0/S^+_i) = f(t_i)$) [9, 3].

Використання розрахункових схем неусталеної фільтрації Тейса і Бабушкіна-Біндемана було пов'язано з тим, що більша частина деформації (збурення) потоку ВГ у процесі зниження рівня відбувається у слабопроникних породах, в масиві яких формується репресія наливу.

Спостереження за зниженням рівня виконувалися з частотою 0,5-1 хв до уповільнення швидкості на межі чутливості рівнеміра (1-3 $см/с$).

Результати розрахунків коефіцієнта водопровідності за залежностями Дюпюї, Тейса та Бабушкіна-Біндемана (km_d , km_T , km_{BB}) наведено на порівняльній гістограмі (рис. 4).

Аналіз вищезгаданих даних дозволяє зробити наступні висновки щодо гідрогеофільтраційних параметрів спостережних свердловин як показника їх чутливості до змін рівнів і радіохімічних показників ВГ:

1) підвищені значення водопровідності за схемою Дюпюї (km_d) пов'язані з обмеженим простором прифільтрової зони, який заповнений високопроникним матеріалом і тому забезпечує переважно висхідну позатрубну фільтрацію при обмеженому впливі потоку ВГ;

2) оцінка величин водопровідності за розрахунковими схемами Тейса і Бабушкіна-Біндемана (km_T , km_{BB} , відповідно) надає відносно наближені значення, що пов'язано з фільтрацією наливних вод у віддаленій від фільтру зоні досліджуваного ВГ і відображає просторово виражені у полі репресії значення водопровідності (рис. 4).

Свідченням достатньої вірогідності оцінок водопровідності за розрахунковими схемами Тейса та Бабушкіна-Біндемана може слугувати відносно значима ($R \sim 0.35$) парна кореляція між величинами km_T та km_{BB} (рис. 5).

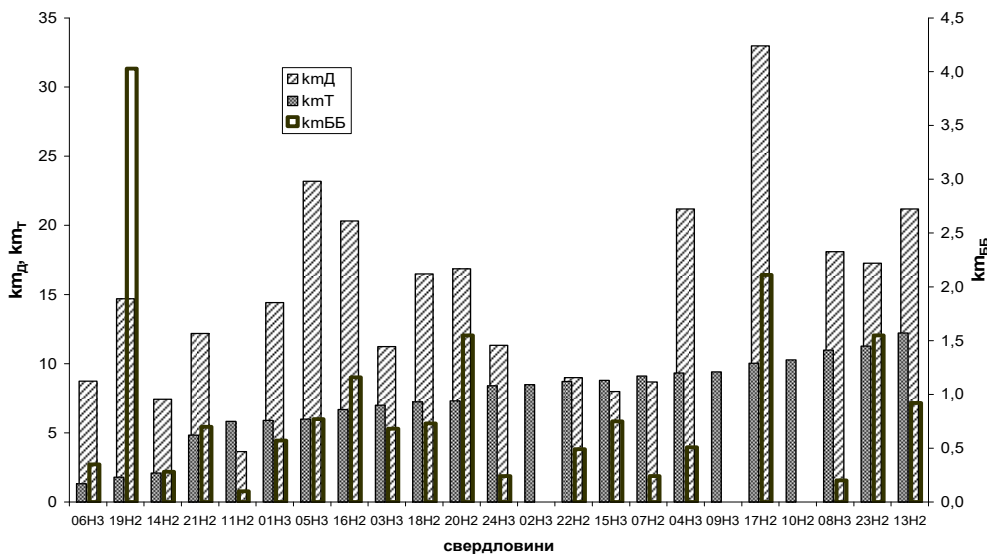


Рис. 4. Порівняльна гістограма коефіцієнтів водопроникності, визначених різними методами

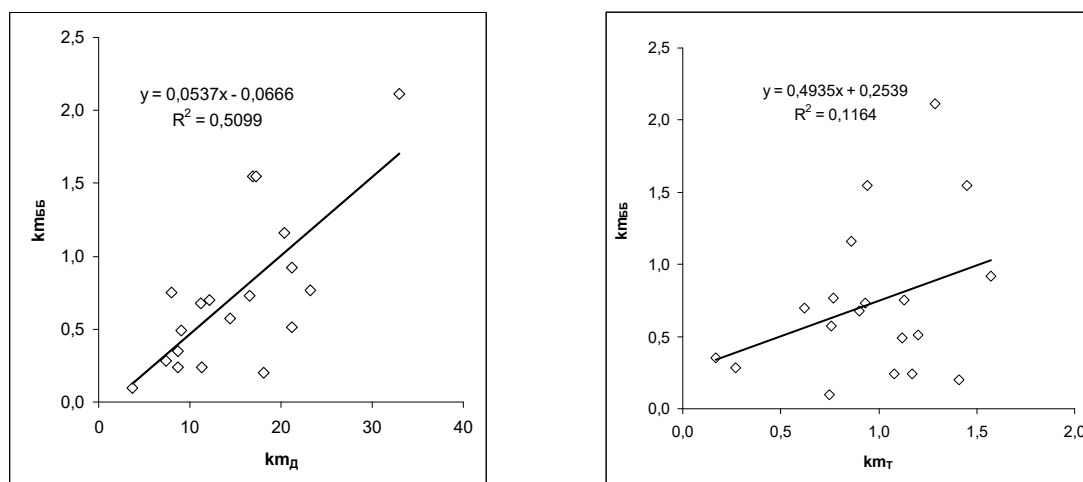


Рис. 5. Регресійні залежності між величинами коефіцієнтів водопроникності, визначених різними методами

Серед тридцяти обстежених спостережних свердловин гідрогеофільтраційно досконалими за величиною водопровідності (за розрахунковими схемами Тейса та Бабушкіна-Біндермана) та за досконалістю розкриття фільтровою частиною ґрунтового ВГ (положення фільтру відносно РГВ і літологія порід у фільтровій зоні) можна вважати лише п'ять, кожна з яких потребує розчищення желонуванням.

Висновки. Спостереження за режимом підземних вод в системі радіаційного моніторингу ДСП КДМСК УДО "Радон" є малоінформативними та не відображають реального впливу на об'єкт досліджень.

Динаміка гідродинамічного режиму свідчить про наявність тенденції до зниження рівня та зміни просторової конфігурації гідроізогіпс ґрунтового ВГ. Це може бути обумовленим недосконалістю вимірів РГВ внаслідок штучної механічної кольматації порового простору піщано-суглинисто-глинистих порід. Недосконале облаштування та експлуатація спостережних свердловин, у складних геолого-гідрогеологічних умовах промислових ПЗРВ призвели до втрати більшістю з них зв'язку з ґрунтовим ВГ. За результатами оцінки гідрогеофільтраційної досконалості свердловин встановлено, що більшість з них є недосконалими та потребують ліквідації. Лише п'ять свердловин можна продовжувати використовувати після попереднього їх розчищення методом желонування.

Для забезпечення радіаційної безпеки в межах м. Києва, існуюча система радіаційного моніторингу ДСП КДМСК УДО "Радон" нагально потребує оновлення, розширення та розроблення науково обґрунтованої програми спостережень. Удосконалення системи моніторингу повинно базуватись на даних щодо просторового поширення планових контурів поля тритієвого забруднення підземних вод.

Список використаних джерел

1. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000 аркуша М-36-XIII (Київ) / Під ред. В. Ю. Зосимовича та П. Ф. Гожики. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, Північне державне регіональне геологічне підприємство "Північгеологія", 2001. – 78 с.
2. Долін В. В. Еволюція контурів радіоїдгеохімічної аномалії тритієвого забруднення в зоні впливу приповерхневого сховища радіоактивних відходів [Електронний ресурс] / В. В. Долін, Є. О. Яковлев, О. В. Щербак, Я. О. Куцка // XIVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 11-14 May 2015, Kiev, Ukraine. – 2015.
3. Жернов І. Е. Динаміка підземних вод / І. Е. Жернов. – К.: Вища школа, 1982. – 324 с.
4. Ішук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: навч. посібник / О. О. Ішук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков; під ред. акад. Д. М. Гродзинського; Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. – К.: ВПЦ "Київський ун-т", 2003. – 200 с.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. – Київ, 1997. – 120 с.
6. Отчет о сооружении сети наблюдательных скважин за режимом подземных вод на территории пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО): рабочий проект, книга 1. – К.: Малое совместное предприятие проектно-конструкторского научно-исследовательского института "Сантехэнергопроект", 1992. – 62 с.

7. Отчет о сооружении сети наблюдательных скважин за режимом подземных и поверхностных вод и состоянием грунтов в зоне аэрации (II этап). Книга 1: пояснительная записка. – К.: Киевский институт изысканий и исследований "Энергопроект", 1993. – 80 с.

8. Тритій у біосфері / В. В. Долін, О. В. Пушкар'єв, І. Ф. Шраменко та ін. – К.: Наук. думка, 2012. – 224 с.

9. Шестаков В. М. Динамика подземных вод / В. М. Шестаков. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 368 с.

References

1. Ukraine State Geological map scale of 1: 200 000 sheet M-36-XIII (Kiev). Ed. by V. Yu. Zosymovych and P. F. Gozhyk. (2001). Kiev, The Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, the Northern State regional geological enterprise "Pivnichgeologiya", 78 p. [In Ukrainian].

2. Dolin V. V., Yakovlev E. A., Scherbak O. V., Kutska Ya. A. (2015). Evolution of outlines of tritium contamination radiohydrogeochemical anomalies in the zone of near-surface storage of radioactive waste. XIVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 11-14 May 2015, Kiev, Ukraine. [In Ukrainian].

3. Zhernov I. E., (1982). Dynamics of underground waters. K.: Vyscha shkola, 324 p. [In Russian].

4. Ischuk A. A., Korzhnev M. M., Koshlyakov A. E. (2003). Spatial analysis and modeling in GIS: Textbook. K.: PPC "Kyivskyi universytet", 200 p. [In Ukrainian].

5. Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97). State sanitary standards (1997). Kyiv, 120 p. [In Ukrainian].

6. Report about the construction of observation wells network for groundwater regime in the territory of the radioactive waste disposal item (RWDI): detailed design. (1992). K.: small joint venture of Design Research Institute "Santekhnenergooproekt", book 1, 62 p. [In Russian].

7. Report about the construction of observation wells network for the regime of groundwater and surface water and soil conditions in the aeration zone (II stage), an explanatory memorandum. (1993). K.: the Kiev Institute of research and studies "Energooproekt", book 1, 80 p. [In Russian].

8. Dolin V. V., Pushkarov A. V., Shramenko I. F. et al. (2012). Tritium in the biosphere. K.: Naukova dumka, 224 p. [In Ukrainian].

9. Shestakov V. M. (1979). Dynamics of underground waters. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 368 p. [In Russian].

Надійшла до редколегії 10.04.16

O. Scherbak, Cand. Sci. (Geol.), Junior research fellow

E-mail: scherbak_olesia@ukr.net;

T. Koshliakova, Cand. Sci. (Geol.), Research fellow

E-mail: geol@bigmir.net;

V. Dolin (jun.), category I engineer

E-mail: vdolin@i.com.ua

I. Rudenko, Junior research fellow

E-mail: irina_mihalovna@ukr.net

State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine"

34a Palladina Ave., Kyiv, 03680 Ukraine;

Ya. Kutska, Postgraduate Student

E-mail: yanusik1965@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF RADIOHYDROGEOLOGICAL MONITORING IN THE INFLUENCE ZONE OF KYIV RADIOACTIVE WASTE STORAGE

The current state of radiohydrogeological monitoring system in the influence zone of Kyiv subsurface radioactive waste storage is considered with using hydrogeological, statistical and geoinformational research methods. According to monitoring observations (1992-2013) the spatial-temporal dynamics of the upper Quaternary – upper Eocene groundwater complex hydrodynamic regime is analyzed. Hydrogeofiltrational efficiency of the observation wells is estimated by two parameters, namely: the efficiency of uncovering of groundwater aquifer by filter section (filter position regarding the groundwater level and the rocks lithology in filter zone) and the transmissivity value. The presence of groundwater level downtrend and hydrozohypses spatial configuration changes were determined. The majority of observation wells are hydrogeofiltrational incomplete due to artificial mechanical mudding of the filter zone and structural features. Observational data provide little information and do not reflect the real impact of the storage on environment.

Based on the results obtained the conclusion was made about the necessity of renewal and expansion of the current monitoring system. The monitoring system development must be made with taking into account the evolution of groundwater tritium contamination contours.

Keywords: monitoring, groundwater, groundwater level, contamination, radioactive waste, tritium.

O. Щербак, канд. геол. наук, мл. науч. сотруд.

E-mail: scherbak_olesia@ukr.net;

T. Кошлякова, канд. геол. наук, науч. сотруд

E-mail: geol@bigmir.net;

В. Долін (мл.), инж. I кат.

E-mail: vdolin@i.com.ua;

И. Руденко, мл. науч. сотруд.

E-mail: irina_mihalovna@ukr.net

ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины"

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

Я. Куцка, асп.

E-mail: yanusik1965@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КИЕВСКОГО ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрено современное состояние системы радиогидрогеологического мониторинга в зоне влияния Киевского приповерхностного хранилища радиоактивных отходов с применением гидрогеологических, статистических и геоинформационных методов исследования. По данным мониторинговых наблюдений (1992-2013 гг.) проанализирована пространственно-временная динамика гидродинамического режима верхнечетвертичного-верхнеэоценового водоносного комплекса. Выполнена оценка гидрогеофильтрационного совершенства наблюдательных скважин по двум параметрам, а именно: ссовершенство раскрытия фильтровой частью почвенного водоносного горизонта (положение фильтра относительно уровня грунтовых вод и литология пород в фильтровой зоне) и величина водопроводимости. Установлено наличие тенденции к понижению уровня и изменению пространственной конфигурации гидроизогипс. Основное большинство наблюдаемых скважин являются гидрогеофильтрационно несовершенными вследствие искусственной механической колюматации фильтровой зоны и конструктивных особенностей. Данные наблюдений являются малоинформативными и не отражают реального влияния хранилища на окружающую среду.

На основе полученных результатов сделан вывод о необходимости обновления и расширения существующей системы мониторинга. Совершенствование системы мониторинга должно выполняться с учетом эволюции контуров тритиевого загрязнения грунтовых вод.

Ключевые слова: мониторинг, подземные воды, уровень грунтовых вод, загрязнение, радиоактивные отходы, тритий.

УДК 631.47

Ю. Тютюнник, д-р географ. наук, проф., пров. наук. співроб.
E-mail: carme@univ.kiev.ua
Інститут еволюційної екології НАНУ, вул. Лебедєва, 37, м. Київ, 03143, Україна;
О. Шабатура, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна

ІНДУСТРІОЗЕМИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В АРХЕОЛОГІЧНОМУ ҐРУНТОЗНАВСТВІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук О.І. Меньшовим)

Розглянуто і обґрунтовано поняття індустріозему – генетично самостійного типу ґрунту виділеного для територій з фабрично-заводською і супутньою виробничою інфраструктурною забудовою. Це специфічний вид ґрунтів, до яких не відносяться ґрунти шахт, кар'єрів і ґрунти урбанізованих ландшафтів. Характерною (діагностичною) ознакою індустріоземів є наявність генетичного горизонту FR утвореного залишками і відходами виробництва, як актуального, так і такого, що вже не відбувається.

З позицій ґрунтознавства, геоморфології, літології, технічної мінералогії описані ознаки діагностичних горизонтів індустріоземів та показані можливості використання їх в ґрунтознавчо-археологічному вивченні індустріальної спадщини (для оконтурення місць давніх і покинутих виробництв; об'єктів промислово-транспортної та складської інфраструктури тощо; реконструкції давніх технологій), особливо тих родів діяльності людини, які вже не існують.

Представлено досвід вирішення важливих питань історії промисловості України за допомогою ґрунтознавчо-археологічних досліджень. На основі аналізу сучасного антропогенного рельєфу, мінералогічного і петрографічного складу давніх промислових відкладів (горизонт FR), а також вертикальної будови генетичних ґрунтових горизонтів і ґрунтоутворюючих порід встановлені місця локалізації перших цукрових заводів України; такі місця (антропогенні ландшафти) є цінними об'єктами культурно-історичної (індустріальної) спадщини України.

Ключові слова: індустріозем, діагностичний горизонт FR, мінералогічний і петрографічний склад, археологічне ґрунтознавство, індустріальна спадщина, перша українська цукроварня.

Вступ. Ґрунтознавча наука бурхливо розвивається, в ній з'являються нові об'єкти, методи і галузі дослідження. В цій статті розглянемо один з таких об'єктів – *індустріоземи*, і нову галузь прикладного застосування ґрунтознавства – *ґрунтознавчо-археологічне* вивчення об'єктів індустріальної спадщини. На прикладі конкретного дослідження покажемо ефективність і результативність використання ґрунтознавчих методів і підходів при вирішенні непростих завдань пошуку та ідентифікації пам'яток науки і техніки нашої Вітчизни.

Поняття індустріозему. Індустріозем – це ґрунт промислового майданчика. Це ні в якому разі не ґрунт гірсько-промислових земель (кар'єрно-відвальних комплексів, дражних бедлендів, шламонакопичувачів гірничо-збагачувальних комбінатів тощо), а саме ґрунт фабрично-заводської території. Термін "індустріозем" в зазначеному вище сенсі був введений ще в 1992 році М.Н. Строгановою і М.Г. Агарковою [9]. Але надалі він мало використовувався, хоча визнати індустріозем ґрунтом саме виробничого майданчику цілком логічно [4,10]. Та оскільки промислові майданчики і промзони дуже часто є складовою міст і селищ, то цю логіку порушує тенденція вважати індустріозем своєрідним різновидом *урбанозему* (наприклад в [14]). Явним чи неявним аргументом прихильників такої точки зору є те, що і урбанозем, і індустріозем розрізняються за однаковою морфологічною ознакою – наявністю діагностичного генетичного горизонту, що позначається U ([8]) або UR ([5]). В останніх роботах з урбоґрунтознавства перевага віддається позначці "UR" [7]. З точки зору антропогенного ландшафтознавства, така позиція є хибною [13]. По-перше, поняття урбанізованого ландшафту і ландшафту промислового не тотожні, як в територіальному, так і в таксономічному сенсі (хоча б тому, що існують промзони, що розташовані цілком за межами урбанізованих територій – АЕС, особливо небезпечні хімічні комбінати та ін.). А значить індустріозем може просто просторово "відриватися" від міської забудови і поняття "урбо-" до нього вже ніяк не застосуєш. По-друге, якісний склад діагностичного горизонту UR у власне урбаноземі і в індустріоземі суттєво різний. Саме поняття "урбо-" вказує на сельбищно-будівельну і житлово-комунальну діяльність, продукти якої складають основу матриці горизонту UR (будівельне і побуто-

ве сміття). Індустріальна ж діяльність, очевидно, спряжена з надходженням у ґрунт, накопиченням і консолідацією в ньому в якості діагностичного генетичного горизонту техногенних решток іншого походження і складу. Якщо будівельне сміття ще може бути спільною складовою для матриці діагностичних горизонтів в обох випадках, то інші штучні включення, що утворюють гор. UR та його аналог в індустріоземах, будуть дуже відмінними. Ми пропонуємо цей аналог позначити як "FR" (від англ. *factory* – заводський, фабричний). В цій статті ми не маємо змоги докладно проаналізувати відмінності між горизонтами UR та FR, але твердження, що комунально-побутова матриця горизонтів UR більш однорідна за своїм складом, ніж продукти виробничої діяльності, з котрих складаються діагностичні горизонти FR, нам здається достатньо очевидним. При цьому, неоднорідність останніх може проявлятися двояко. З одного боку, це може бути звичайна фізична і хімічна неоднорідність, аналогічна такій в горизонтах UR. Але вона буде сильнішою за неоднорідність "урбіків" через те, що форми діяльності людини, котрі проявляються на проммайданчику (і відповідно формують склад матриці горизонтів FR) більш різноманітні, аніж на територіях під житлово-комунальною забудовою. З іншого боку, на проммайданчиках часто утворюються моноречовинні шари різноманітних техногенних субстанцій (хімічний шлак, металургійний шлак, вугільна зола та ін.), з яких потім формуються однорідні за складом горизонти FR. В межах одного й того ж проммайданчика (не говорячи вже за промзону) можуть утворюватися індустріоземи з різними моноречовинними горизонтами FR. Для горизонтів UR і відповідно для урбаноземів це нехарактерно.

В контексті даної статті звернімо увагу також на такі поняття як *похований індустріозем* та *палеоіндустріозем*. Принципових відмінностей між поняттями похованого ґрунту і палеоґрунту, в сфері природного ґрунтознавства і з точки зору ґрунтознавчого вивчення міських та промислових ґрунтів, немає. Згадаємо лише загально відоме положення про те, що після зняття техногенного "пресу" (будь якого, індустріального в тому числі), створений чи перетворений людською активністю ґрунт демутує, намагаючись повернутися у вихідний природний стан. Стартовим процесом демутації індустріозему є гуміфікація і гумусонакопичення в його горішніх шарах.

Індустріоземи в ґрунтознавчо-археологічних дослідженнях. Використання прийомів, методів і підходів польового ґрунтознавства в археологічних дослідженнях базується на тому простому припущенні, що археологічне поняття *культурного шару* і ґрунтознавчі поняття генетичного ґрунтового горизонту та/або ґрунтового тіла ототожнюються [1]. Оскільки історична наука в цілому і її галузь археологія зокрема цікавляться минулим лише людини, то очевидним буде те, що в центрі уваги ґрунтознавчо-археологічного дослідження знаходиться *ґрунт антропогенний* в найрізноманітніших його формах, проявах і трансформаціях (в тому числі ґрунти зоогенні, обумовлені життєдіяльністю свійських тварин). Видозміннені і створені минулою діяльністю людини ґрунти вже не перше десятиліття використовуються для вивчення городищ і руїн поселень, курганів та некрополів, способів природокористування та проявів господарської активності наших предків і т. ін. В цьому ж ряду – звернення до ґрунту, як свідка індустріальної діяльності людини [3].

Зазначимо, що поняття індустріозему ще не було в теорії "великого" ґрунтознавства, а ґрунти-свідки роботи домниць і плавильень, гут і гончарень, портів і пакувальних тощо вже використовувалися в індустріальній археології. Але тут була одна "тонкість". З антропогенними палеоґрунтами, що свідчили про форми господарської активності людини минулих віків особливих теоретичних проблем не було. Вони цілком вкладалися у традиційну ґрунтознавчу парадигму: змінені діяльністю людини ґрунти, штучні рештки і включення в них використовувались як індикатори форм господарської активності. При ґрунтознавчо-археологічному вивченні об'єктів Давнього світу, Античності, Середньовіччя, навіть початку Нового часу, ця парадигма працювала бездоганно. Так, палеоформи забруднення ґрунтів і ґрунтоутворюючих порід вивчалися при дослідженнях таких районів давньої господарської активності, як Кемпен (Бельгія) [16]; кельтські гірничі і металургійні пункти в місцевості Морган (Франція) [15], давні солеварні Жонґба і району Трьох Ущелин (басейн річки Яндзи, Китай) [17] тощо. Але під час Промислової, а далі науково-технічної, революції почали з'являтися і зникати великі підприємства, що залишали по собі не "рештки господарської діяльності", а справжні "поля" індустріоземів. В історичній науці ці об'єкти розглядаються вже не стільки в площині індустріальної археології, скільки в контексті теорії *пам'яток науки і техніки*, а сьогодні – як об'єкти *індустріальної спадщини*. Наприклад, у Список Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО потрапив такий курйозний, на перший погляд, об'єкт, як шлакові відвали давнього металургійного заводу в місті Рьоросі (Норвегія) [4]. Очевидно, металургійні шлаки, яким понад 300-350 років, це не "змінений" ґрунт, в якому містяться "рештки виробництва", а якийсь незвичайний ґрунтово-геологічний феномен, котрому місце в ґрунтознавчій таксономії знайшлося лише зараз: *індустріозем*, палеоіндустріозем.

Об'єкти індустріальної спадщини на 2014 р. складали близько 6% від усіх об'єктів Списку Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО (підрахунки авторів за відомостями з мережі Інтернету). На національних рівнях їх ще більше. Зокрема, для будь-якої країни і навіть окремого регіону або міста актуальна проблема "першого заводу" (тієї чи іншої галузі виробництва). Як показано теоретиками індустріальної спадщини П.В. Боярським, М.С. Штігліц, І.М. Юркіним, а також в нашій роботі [11], на місцях розташування старих, давно зруйнованих заводів утворюються своєрідні меморіальні ландшафти, які ззовні можуть нічим не нагадувати колишньої присутності тут виробництва, але, при детальному розгляді і вивченні, виявляються переконливими свідками існування індустріальної діяльності на цій території в минулому.

Виявлення індустріальних палеоландшафтів вимагає поглибленого вивчення тих індикаторів і речовинно-фізичних діагностичних ознак (ґрунтових, геохімічних, геофізичних тощо), за допомогою яких їх можна ідентифікувати. Ця робота спрямована на зменшення зазначеної лакуни шляхом кодифікації індустріоземів історичних ландшафтів-пам'яток із залученням методів археологічного ґрунтознавства і геології.

Археологічне ґрунтознавство в економічній історії України. В економічній історії нашої держави майже постулатом вважається, що перший український цукровий завод запрацював в 1824 році в селі Трощин Богуславського повіту Київської губернії (сьогодні Канівський р-н Черкаської обл.). Ця дата фігурує в наукових статтях, монографіях, підручниках вже понад 100 років. Але вона є сумнівною, на що деякі дослідники вказували ще в 1920-х рр. [6]. Водночас в 1972 році не зовсім компетентні краєзнавці в Чернігівському томі такого серйозного академічного видання, як "Історія міст і сіл УРСР", написали, що в місті Бобровиці Чернігівської обл. був збудований цукровий завод в 1807 році [2]. Це твердження не було підкріплене жодним посиланням, але згодом воно проникло в енциклопедії, довідники, статті, і дата "1807" теж почала фігурувати в історії становлення українського цукроваріння. Обидві ці "літературні" дати – "1824" і "1807" – є найбільш ранніми щодо виникнення перших українських цукроварень, і водночас обидві є невірними. Неправильно також вважати колискою українського цукроваріння село Трощин, або місто Бобровицю. Предметом цієї статті не є історичне дослідження питання, тому пропускаючи "історичну складову", яка викладена в [12], покажемо яку роль у розв'язанні проблеми місця знаходження першої української цукроварні відіграли ґрунтознавчо-археологічні дослідження.

Аналіз літературних і архівних матеріалів, дозволив нам встановити, що Бобровицька цукроварня була збудована між 1835 і 1845 рр., Трощинська – в 1832 році. Першим же українським цукрозаводом був завод у селі Бучак (Канівський р-н Черкаської обл., недалеко від Трощина), який запрацював в 1822 році і остаточно припинив свою роботу в 1831 р. [6]. За допомогою ґрунтознавчо-археологічних методів вдалося ідентифікувати місця розташування усіх трьох об'єктів.

Бучак. Опитування місцевого населення дозволило виявити на південній околиці села місцевість з топонімом "Заводище". Тут була розташована виробнича зона, до складу якої в різні періоди між 1820-ми і 1940-ми роками входили заводи цукроварний, цегляний, черепичний, винокурений. Наприкінці 1940-х – на початку 1950-х років промзона припинила своє існування. Більша частина аутентичної місцевості Заводища втрачена: частина затоплена водами Канівського моря, частина спотворена земляними роботами під час будівництва Канівської гідро-акумулятивної станції, які велися в 1970-1980-х рр. і не були завершені. Уважне вивчення рельєфу і деревинно-чагарникової рослинності території, котра позначається як Заводище, дозволило віднайти невелику ділянку, яку не зачепила гідроенергетична будівельна діяльність 1960-1980-х рр. (рис. 1а). На цій ділянці був закладений ґрунтовий перетин, який розкрив індустріозем віком, що перевищував 60 років, який перебуває в стадії активної демутації. Він фіксується від поверхні, де вже сформувався новий гумусовий горизонт, до глибини 90 см, на якій починається старий – похований гумусовий горизонт вихідного природного ґрунту (рис. 1б). Діагностичний же горизонт FR найвиразніше проявляє себе на глибинах 16–90 см. Тут він складений зцементованими супіском шматками будівельного каміння – пісковіку і гальки: перший видобували в кар'єрі, розташованому в 5 км від Бучаку, друга

може бути тільки завезеною. Місцева кар'єрна сировина – кварцовий пісок, що використовувався для фільтрації (відбілювання) цукру-сирцю, після потрапляння в ґрунт з роками зцементовувався, утворюючи матрицю індустріозему. Особливістю горизонту FR є наявність брекчій, утворених міцнозцементованим будівельним камінням,

між яким проглядаються руді плями оксидів заліза. При практичній відсутності глейових процесів наявність охристих виділень можна пояснити техногенними чинниками – термічним окисленням металічних домішок у технологічній сировині.



Рис. 1. Фрагмент аутентичної місцини "Заводище" на околиці села Бучак Канівського р-ну Черкаської обл. – території, де в 1822–1831 рр. розміщувався перший в Україні цукровий завод:

а – загальний вигляд місця закладення ґрунтового перетину; ліворуч – корінний схил правого берега Дніпра; б – розкритий у перетині (0 – 90 см) індустріозем

Таким чином із залученням топонімічних, геоморфологічних, ботанічних і на основі ґрунтознавчих та літолого-мінералогічних методів дослідження, нами було ідентифіковано фрагмент аутентичної промислової зони в селі Бучак Канівського р-ну Черкаської обл., в якій в 1822–1831 рр. розміщувався перший в Україні цукровий завод. Звичайно, сказати з впевненістю, що він розміщувався саме в цьому пункті, ми не можемо (хоча цілком можливо, що ті чи інші його об'єкти, комори, наприклад, чи під'їзні шляхи, могли існувати саме тут). Але ж це єдине місце, що залишилося від аутентичного Заводища! Тому віднайдений його фрагмент слід вважати **пам'яткою науки і техніки національного значення** – територією, в межах якої існував перший в Україні цукровий завод.

Трощин. Тут на околиці села в долині невеличкої річки Бобриці цукроварня існувала з початку 1830-х і до Громадянської війни (орієнтовно до 1918 р. або до 1919 р., можливо до 1920-го, але не пізніше). Її сліди в рельєфі і гідрографії гарно збереглися. Зокрема, до сих пір існують колишні заводські ставки. Збереглися залишки старої залізничної станції, на якій перевантажувалася і через яку транспортувалася продукція заводу. Ґрунтовий розріз, закладений на ділянці території колишньої цукроварні (рис. 2а) підтвердив існування на цьому місці виробничих споруд. Індустріозем (рис. 2б), що перебуває тут в стадії активної демутації, складається з декількох горизонтів FR. Від поверхні (FR₁, 6 – 15 см) він складений битою цеглою – залишками руїн цехових споруд. Шматки цегли (і навіть цілі цеглини) зустрічаються і нижче, але вже не суцільним шаром. Нижче спостерігаємо смуги діагностичного, саме для цукрозаводських індустріоземів, горизонту (FR₂, 36 – 72 см), який формується відсіпанням лесовим матеріалом (світлі смуги на рис. 2б) з домішками сильно вивітрилих вапнякових субстанцій (вапнякове каміння, мінералізований дефекаційний мул), деревної та вугільної золи і навіть шматків шлаку – неоднорідної композиції зі сплавлених, при випалюванні вапняку в печі, піщано-глинистих та вап-

нистих часток. Наявні також темnobарвні включення, що вказує на наявність овугленої органічної речовини.

Бобровиця. Цукровий завод, якому приписують дату заснування "1807", але який, швидше за все, був збудований між 1835-м і 1845-м роками і припинив своє існування біля 1858-го року, розташовувався в самісінькому центрі сучасної Бобровиці, поруч з міським ставком (рис. 3а). Це вдалося встановити *лише завдяки ґрунтознавчо-археологічним дослідженням*: жодних архівних, літературних чи усних свідчень або спогадів про місце знаходження цієї цукроварні ми не зустріли. Вгадати його по рельєфу також проблематично, оскільки через 80 років після зникнення цукроварні на місці її розташування був побудований продовольчий комбінат, який працював в 1934–1991 рр., а сьогодні теж повністю зруйнований. Тим не менш, ґрунтознавчо-археологічні дослідження місця розташування промкомбінату показали, що в товщі ґрунтів, сформованих виробничою діяльністю людини, простежуються два горизонти FR – *ново-промисловий* (FR_{нв}) і *старо-промисловий* (FR_{ст}). FR_{нв}, складений вугільною золою, шматками скла, бляшанками та іншими металевим рештками, ідентифікується на глибинах 35 – 68 см і вказує на існування промкомбінату. А от гор. FR_{ст} (рис. 3б) є індикатором наявності колись на цьому місці саме цукроварного виробництва. Він знаходиться на глибинах 68–83 см і складається з вивітрилого вапнякового матеріалу і шматків деревинного вугілля. Крім того, в гор. FR_{ст} наявні включення вугільної золи і шматочків битої цегли, а також залишки кісток тварин. Негашене вапно, на ранніх етапах цукроваріння – кров свійських тварин, кісткова зола, деревне вугілля використовували для освітлення соку цукрового буряку (на рис. 3б частину кістки видно в лівому нижньому куті). З геохімічної точки зору діагностично-важливим є своєрідний хімічний склад техногенних продуктів горизонту FR_{ст}, в якому переважає вапниста компонента (60-70%), азот, фосфор, калій та різною мірою мінералізована органіка (до 15%).



Рис. 2. Ділянка території цукрового заводу, що діяв в 1832–1918/1919 рр., біля села Трощин Канівського р-ну Черкаської обл.:

а – антропогенний ландшафт, в якому був закладений ґрунтовий перетин; б – розкритий у перетині індустріозем

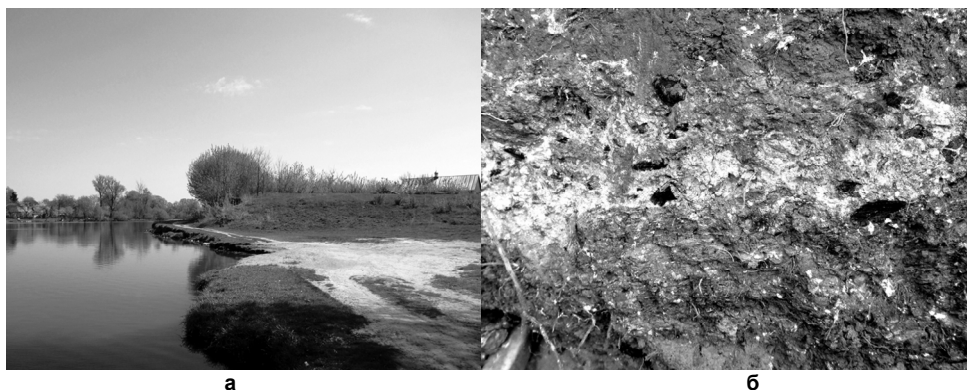


Рис. 3. В центрі міста Бобровиці Чернігівської обл. колись існували підприємства – продовольчий комбінат і цукровий завод:

а – платоподібне підвищення праворуч по центру – місце розміщення продкомбінату (1934–1991) і цукрового заводу (1835/1845 – 1858); тут були закладені ґрунтові перетини; б – старо-промисловий гор. FR_{ст} на глибині 68–83 см є діагностичним генетичним горизонтом для індустріозему, утвореному на місці розташування цукрового заводу

Отже місце знаходження Бобровицької цукроварні першої пол. XIX ст (інший цукрозавод був збудований в Бобровиці в 1899 р. на окраїні міста), ідентифіковано за допомогою методів археологічного ґрунтознавства. Завдання для істориків – визначити достеменно дату спорудження цього об'єкту. Після вирішення питання, всі "крапки над 'і'" в історії початку створення цукрових заводів в Україні будуть розставлені.

Висновки. 1. Індустріозем – генетично самостійний тип техногенного ґрунту, котрий формується на територіях промислових майданчиків і зон під фабрично-заводською забудовою і супутньою виробничою інфраструктурою. 2. Індустріозем не тотожний урбанозему, має в своєму профілі діагностичний генетичний горизонт FR, сформований рештками і субстанціями промислового виробництва. Склад гор. FR обумовлюється типом виробництва (технології), має різко неоднорідні структурно-текстурні особливості і хімічний склад та мінливу кількість органічних домішок. 3. Індустріоземи (поховані індустріоземи, палеоіндустріоземи) можна ефективно використовувати в ґрунтознавчо-археологічних дослідженнях, ототожнюючи їх з культурними шарами, сформованими давніми формами виробничої активності людини. 4. Ґрунтознавчо-археологічні дослідження територій старих цукрових заводів України дозволили ідентифікувати місце розташування промайданчиків, що дало можливість скорегувати неточності допущені в історії щодо пріоритету місця заснування першого українського цукрового заводу та підтвердити існування інших.

Список використаних джерел

1. Дёмкин В. А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества / В. А. Дёмкин – Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 213 с.
2. Історія міст і сіл Української РСР. Чернігівська область – К.: Голов. ред. Української радянської енциклопедії АН УРСР, 1972. – 780 с.
3. Каздым А. А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий: палеоэкологический аспект / А. А. Каздым – М.: Наука, 2006. – 158 с.
4. Культурный ландшафт как объект наследия / Е. Д. Андреева, Ю. А. Веденин, Н.М. Ведерникова и др.; под науч. ред. Ю. А. Веденина, М.Е. Кулешовой. – М.: Институт наследия; СПб.: Дмитрий Булавин, 2004. – 620 с.
5. Лебедева И. И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую классификационную систему почв России / И.И.Лебедева, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 624-628.
6. Плевако О. А. З матеріалів до історії цукрової промисловості на Україні (До питання, коли побудовано перші цукроварні) / О. А. Плевако // Ювілейний збірник на пошану академіка Дмитра Івановича Багалія з нагоди сімдесятої річниці життя та п'ятдесятих роковин наукової діяльності. – К.: З друкарні Української Академії Наук, 1927. – С. 1001-1028.
7. Прокофьева Т. В. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т. В. Прокофьева, М. И. Герасимова, О. С. Безуглова и др. // Почвоведение. – 2014. – № 10. – С. 1155-1164.
8. Прокофьева Т. В. Систематика почв и почвообразующих пород и возможности их включения в общую классификацию / Т. В. Прокофьева, И. А. Мартыненко, Ф. А. Иванников // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 611-623.
9. Строганова М. Н. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) / М. Н. Строганова, М. Г. Агаркова // Почвоведение. – 1992. – №7. – С. 16-24.
10. Сычева С.А. Междисциплинарные исследования культурных слоёв и археологическое почвоведение / С.А. Сычева // Материалы Всероссийской науч. конф. по археологическому почвоведению. Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН, Пушино, 2014. – С. 32-34.

11. Тютюнник Ю.Г. Индустриальные следы (на примере стеклоделия Закарпатья) / Ю. Г. Тютюнник // Питання історії науки і техніки. – 2008. – № 2. – С. 65-69.
12. Тютюнник Ю.Г. Перші цукроварні України / Ю. Г. Тютюнник // Цукор України. – 2015. – № 6-7 (114/115). – С. 13-19.
13. Тютюнник Ю.Г. Разнообразие почв урбанизированного ландшафта / Ю. Г. Тютюнник // Биосфера. – 2014. – Т.6, № 2. – С. 187-195.
14. Шестаков И. Е. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь / И. Е. Шестаков, О. З. Еремченко, Т. Г. Филькин // Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 12-21.
15. Felix J.D. The agricultural history of human-nitrogen interactions as recorded in ice core $\delta^{15}\text{N}$ -NO₃ / J.D. Felix, E.M. Elliott // Geophysical Research Letters. – 2013. – № 40 (8). – P. 1642-1646.
16. Sonke J.E. A chemical and mineralogical reconstruction of Zn-smelter emissions in the Kempen region (Belgium), based on organic pool sediment cores / J.E. Sonke, J.A. Hoogewerff, S.R. Van der Laan et al. // Science of the Total Environment. – 2002. – № 292 (1-2). – P. 101-119.
17. Tian X. An evaluation of heavy metal pollution within historic cultural strata at a specialized salt production site at Zhongba in the Three Gorges Reservoir region of the Yangtze River, China / X. Tian, C. Zhu, Z. Sun et al. // Environmental Earth Sciences. – 2013. – № 69 (7). – P. 2129-2138.

References

1. Dyomkin V. A. (1997) Paleopochvovedenie i arheologiya: integratsiya v izuchenii prirody i obshchestva. Pushchino: DSTI PSC of the Russian Academy of Sciences, 213 p. [In Russian].
2. Istoriya mist i sil Ukrainskoi RSR. Chernigivska oblast' (1972). K.: Edition Ukrainian Soviet Encyclopedia of the Ukrainian Academy of Sciences, 780 p. [In Ukrainian].
3. Kazdym A. A. (2006) Tehnogenne otlozheniya drevnih y sovremennih urbanizirovaniy territoriy: paleoekologicheskii aspekt. M.: Nauka, 158 p. [In Russian].
4. Andreeva E. D., Vedenin Yu. A., Vedernikova N.M. et al. (2004). Kulturniy landshtaft kak ob'ekt naslediya. Edited by Yu.A. Vedenin, M.E. Kulshova. M.: Institute of Heritage and SPb.: "Dmitrii Bulavin", 620 p. [In Russian].
5. Lebedeva I. I., Gerasimova, M.I. (2011). Vozmozhnosti vklucheniya pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskv v obschuyu klassifikatsionnuyu sistemu pochv Rossii. Soil Science, 5. 624–628. [In Russian].

6. Plevako O. A. (1927). Z materialiv do istorii tsukrovoy proislovosti ya Ukraini (Do pytannya koly pobudovano pershi tsukrovarni). In: Festschrift in honor of academician Dmitrii Ivanovich Bagalii on his seventieth birthday and fiftieth years of work in science. K.: Ukrainian Academy of Sciences, 1001-1028. [In Ukrainian].
7. Prokofeva T. V., Gerasimova M. I., Bezuglova O. S. et al. (2014) Vvedenie pochv y pochvopodobnykh obrazovaniy gorodskih territorii v klassifikatsiyu pochv Rosii. Soil Science, 10, 1155–1164. [In Russian].
8. Prokofeva T. V., Martynenko I. A., Ivannikov F. A. (2011) Sistematika pochv i pochvoobrazuyushchih porod i vozmozhnosti ih vklucheniya v obschuyu klassifikatsiyu. Soil Science, 5, 611–623. [In Russian].
9. Stroganova M. N., Agarkova M. G. (1992) Gorodskie pochvi: opit izucheniya i sistematiki (na primere pochv yugo-zapadnoi chasti g. Moskv). Soil Science, 7, 16–24. [In Russian].
10. Sycheva S.A. (2014) Mezhdisciplinarnye issledovaniya kulturnih sloev i arheologicheskoe pochvovedenie In: Proceedings of the Scientific Conference on Archaeological Soil Science. Pushchino, 32-34. [In Russian].
11. Tyutyunnik Yu. G. (2008) Industrialnye sledy (na primere steklodeliya Zakarpattya). Questions of history of science and technique, 2, 65-69. [In Russian].
12. Tyutyunnik Yu. G. (2015) Pershi tsukrovarni Ukrainy. Sugar of Ukraine, 6-7 (114/115), 13-19. [In Ukrainian].
13. Tyutyunnik Yu. G. (2014) Raznoobrazie pochv urbanizirovannogo landshtafta. Biosphere, 6, 2, 187-195. [In Russian].
14. Shestakov I. E., Eremchenko O. Z., Fil'kin T. G. (2014) Kartografirovaniye pochvennogo pokrova gorodskih territoriy na primere g. Per'm. Soil Science, 1, 12–21. [In Russian].
15. Felix J.D., Elliott E.M. (2013). The agricultural history of human-nitrogen interactions as recorded in ice core $\delta^{15}\text{N}$ -NO₃. Geophysical Research Letters, 40 (8), 1642-1646.
16. Sonke J.E., Hoogewerff J.A., Van der Laan S.R. et al. (2002). A chemical and mineralogical reconstruction of Zn-smelter emissions in the Kempen region (Belgium), based on organic pool sediment cores. Science of the Total Environment, 292 (1-2), 101-119.
17. Tian X., Zhu C., Sun Z. et al. (2013). An evaluation of heavy metal pollution within historic cultural strata at a specialized salt production site at Zhongba in the Three Gorges Reservoir region of the Yangtze River, China. Environmental Earth Sciences, 69 (7), 2129-2138.

Надійшла до редколегії 09.05.16

Yu. Tyutyunnik, Dr. Sci. (Geograf.), Prof., Leading Research Associate
E-mail: carme@univ.kiev.ua
Institute of Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine
37 Lebedeva st., Kyiv, 03143, Ukraine;
O. Shabaturova, Cand Sci. (Geol), Senior Research Associate
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasulykivska, Kyiv, 03022, Ukraine

INDUSTRIOZEMS AND THEIR USE IN SOIL AND ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

Industriozem is a specific type of soil that is formed in the territories of plants and factories ("factory soils") to which soils of mining land and urban soil in general should not be related. The typical (diagnostic) feature that distinguishes "industriozem" from other soils is a presence of genetic soil layer FR formed from by a great variety of residues and waste products of old industrial plants.

Old and buried industriozems that are formed by various forms of industrial activity in the last century can be effectively identified with methods of archeological soil science. Archeological soil science is modern trend of soil science that is used for studying different kinds of cultural heritage including industrial heritage (old factories, mining and transportation facilities, reconstruction of ancient technologies). But its usage in combination with other research methods may considerable increase reliability of results.

We have studied landscapes formed in the locations of old sugar factories of Ukraine – Buchak, Troshyn and Bobrovysia ones. In soil profile these places can be distinguished on the buried layers FR present as a part of antropogenic and cultural layers of the soil.

Diagnostic horizon FR is commonly found at depth of 16-90 cm (Buchak) and includes man-breccia (the cemented pieces of building stones, quartzites, limestones and ochre components); 36-72 cm (Troshyn). Such study of modern antropogenic relief, structure of soil profile, rockforming layer, mineral and petrographic composition of old industrial sediments and technical mineralogy data allow us to determine possible locations of the old (abandoned)sugar factories and in some cases to reconstruct lost technologies.

This reconstruction might be done through combined usage of concepts of industriozem and methods of archeological, soil and geological sciences.

Keywords: *industriozem, diagnostic soil layer FR, mineral and petrographic composition, archeological soil science, industrial heritage, first ukrainian sugar factory.*

Ю. Тютюнник, д-р. географ. наук, проф., вед. науч. сотруд.
E-mail: carme@univ.kiev.ua
Институт эволюционной экологии НАНУ, ул. Лебедева, 37, г. Киев, 03143, Украина
А. Шабатура, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
НИИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ИНДУСТРИОЗЕМЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ ПОЧВОВЕДЕНИИ

Рассмотрено и обосновано понятие индустриозема – генетически самостоятельного типа почвы, который выделяется для территорий с фабрично-заводской и сопутствующей производственной инфраструктурой застройки. Это специфический вид почв к которому не относятся почвы шахт, карьеров и почвы урбанизированных ландшафтов. Характерным (диагностическим) признаком индустриоземов является наличие генетического горизонта FR образованного остатками и отходами актуальных и уже не существующих производств.

С позиций почвоведения, геоморфологии, литологии, технической минералогии описаны признаки диагностических горизонтов индустриоземов и показана возможности использования их в почвенноведческо-археологическом изучении индустриального наследия. В частности, для оконтуривания мест древних и заброшенных производств; объектов промышленно-транспортной и складской инфраструктуры и т.д.; реконструкции древних технологий.

Представлен опыт решения важных вопросов истории промышленности Украины на основе почвенноведческо-археологических исследований. На основе анализа современного антропогенного рельефа, минералогического и петрографического состава древних промышленных отложений (горизонт FR), а также вертикального строения генетических грунтовых горизонтов и почвеннообразующих пород определены места локализации первых сахарных заводов Украины. Подобного рода территории (антропогенные ландшафты) являются ценными объектами культурно-исторического (индустриального) наследия Украины.

Ключевые слова: *индустриозем, диагностический горизонт FR, минеральный и петрографический состав, археологическое почвоведение, индустриальное наследие, первый украинский сахаропромысел.*

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.3 (519.21)

Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-math.), prof.
E-mail: zoya_vyzhva@ukr.net;K. Fedorenko, postgraduate student
E-mail: slims_mentol@mail.ru;A. Vyzhva, postgraduate student
E-mail: motomustanger@ukr.netTaras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

ABOUT ADVANCED ALGORITHM OF STATISTICAL SIMULATION OF SEISMIC NOISE IN THE FLAT OBSERVATION AREA FOR DETERMINATION THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз-мат. наук, проф. Б.П. Маслоуєм)

The article is devoted to the theory and methods of random process and field statistical simulation on the basis of their spectral decomposition and modified Kotelnikov-Shannon interpolation sums, as well as using these methods in environmental geophysical monitoring. The problem of statistical simulation of the 3D random fields (homogeneous in time and homogeneous isotropic with respect to the 2 other variables) is considered for introducing into seismological researches for determination the frequency characteristics of geological environment. Statistical model and advanced numerical algorithm of simulation realizations of such random fields are built on the basis of modified interpolation Kotelnikov-Shannon decompositions for generating the adequate realizations of seismic noise. Real-valued random fields $\xi(t, x)$, $t \in R$, $x \in R^2$, that are homogeneous with respect to time and homogeneous isotropic with respect to spatial variables in the multidimensional space are studied. The problem of approximation of such random fields by random fields with a bounded spectrum is considered. An analogue of the Kotelnikov-Shannon theorem for random fields with a bounded spectrum is presented. Improved estimates of the mean-square approximation of random fields in the space $R \times R^2$ by a model constructed with the help of the spectral decomposition and interpolation Kotelnikov-Shannon formula are obtained. Some procedures for the statistical simulation of realizations of Gaussian random fields with a bounded spectrum that are homogeneous with respect to time and homogeneous isotropic with respect to spatial variables in the 2D space are developed. There has been proved theorems on the mean-square approximation of homogeneous in time and homogeneous isotropic with respect to the two other variables random fields by special partial sums. A simulation method was used to formulate an advanced algorithm of numerical simulation by means of this theorem. The spectral analysis methods of generated seismic noise realizations are considered. There have been developed universal methods of statistical simulation (Monte Carlo methods) of multiparameters seismology data for generating seismic noise on 2D grids of required detail and regularity.

Keywords: statistical simulation, algorithm, frequency characteristics, seismogram.

Introduction. This article describes the problem of improved statistical simulation algorithm for 3D random field realizations with a limited spectrum which depends on time and was set in the two-dimensional observation area for implementation into seismological research to determine the frequency characteristics of geological environment under the building sites. The model was built and based on improved estimates of random field mean approximation errors the improved algorithm was formulated by this model for numerical simulation of field realizations that are adequate to realizations of seismogram's noises.

It is a further theoretical generalization solved in papers [3-9, 17, 18] for problems concerning the increase of variables space dimensionality, where random field domain with the limited spectrum is focused. This generalization direction development is important because of necessarily to use the proposed method for statistical modeling of random fields with a limited spectrum that depend on the time and are set in the multidimensional variables area, where was added dimensionality value of one or more influential parameters additionally to the spatial coordinates.

Practically it is important to use the statistical simulation realizations of such random fields for the release of seismic noise dependent on one or more significant parameters and external influence, and to obtain appropriate estimations for the frequency characteristics of three-dimensional geological environment observation area. These estimations should be considered in the construction of different objects to ensure the building's solidity.

As can be seen from the articles ([11-16, 19] and others), models and algorithms for numerical simulation of random processes and fields based on Fourier transform, Fourier-Bessel and series of sinc function (interpolation Kotelnikov-Shannon formula) are relatively recently applying in geological sciences.

The article describes the application prospects of constructed models and algorithms for statistical modeling of

3D random fields based on a decomposition into modified Kotelnikov-Shannon interpolation series for seismic noise research problem, which depend on one or more critical parameters for the purpose of determining the frequency characteristics of the geological environment under the building sites in a two-dimensional observation area.

1. The spectral decompositions and modified interpolation Kotelnikov-Shannon series

It is recommended to use the approach is developed on the basis of spectral decomposition of random fields, see [20], and modified Kotelnikov-Shannon theorem for random fields with a bounded spectrum which are homogeneous in time and homogeneous isotropic with respect to the other coordinates for the statistical simulation of observed seismogram's noises which depend on one or several important parameters.

Consider the following results that are proved on the basis of mentioned theory.

1.1. Time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the spatial variables 3D random fields

Consider a real valued mean square continuous random field $\xi(t, x)$, $t \in R$, $x \in R^2$, in $R \times R^2$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the other variables. This means that

1) $E\xi(t, x) = \text{const}$ for all $t \in R$ and $x \in R^2$ (we assume that $E\xi(t, x) = 0$),

2) $E\xi(t, x)\xi(s, y) = B(t-s, \rho)$ for all $t, s \in R$ and for all $x, y \in R^2$ where $B(\tau, \rho)$ is a correlation function that depends on the shift of the time $\tau = t-s$ and distance between the vectors x and y , that is on ρ :

$$\rho = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

The correlation function of a real valued random field $\xi(t, x)$ in $R \times R^2$ which is homogeneous with respect to time t and homogeneous isotropic with respect to the spatial variables admits the following integral representation, see [20], as

$$B(t-s, \rho) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_0(\rho\lambda) \Phi(du, d\lambda), \quad (1)$$

where $\Phi(du, d\lambda)$ is a spatial-temporal spectral measure on Borel sets $(-\infty, +\infty) \times (0, +\infty)$, $J_0(x)$ is the Bessel function of the first kind of order 0.

The next statement for the spectral decomposition of such random field in $R \times R^2$ is mentioned in [20].

Theorem 1. A mean square continuous random field $\xi(t, x)$ in $R \times R^2$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the other variables admits the following spectral decomposition

$$Z_m^l\left(\left[\lambda_1, \lambda_2\right] \times \left[\gamma_1, \gamma_2\right]\right) = l.i.m. \int_{-T}^T \int_0^{+\infty} \frac{e^{-i\lambda_2 t} - e^{-i\lambda_1 t}}{-it} \left[\varphi_{m, \gamma_2}(r) - \varphi_{m, \gamma_1}(r)\right] \times S_m^l(\varphi) \xi(t, r, \varphi) dm_2 dr dt, \quad (4)$$

where $m_2(\cdot)$ is the Lebesgue measure in a unit sphere S_2 of R^2 , $S_m^l(\cdot)$ are orthonormal spherical harmonics of order m , and $\varphi_{0, \gamma}(r) = \frac{1}{c_n} \gamma J_1(\gamma r)$,

$$\varphi_{m, \gamma}(r) = \frac{1}{c_{2r}} \left[mr \gamma J_m(\gamma r) + S_{0, m+1-r}(\gamma r) - \gamma r J_{m-1}(\gamma r) S_{1, m}(\gamma r) + 2 \frac{\Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right)} \right],$$

for $m > 0$, $S_{\mu, \nu}(z)$ is the Lommel function.

The correlation function of a mean square continuous random field $\xi(t, x)$ in $R \times R^2$ which is homogeneous with respect to time t and homogeneous isotropic with respect to the other variables admits the expansion, see [8].

If one considers the "restriction" of the random field $\xi(t, x)$ to the circle of a fixed radius $r = \rho$ then the correlation function of such random process can be written as

$$B(t-s, \varphi_1 - \varphi_2) = E\xi(t, r, \varphi_1) \xi(s, r, \varphi_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_0\left(2\lambda r \sin \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right) \Phi(du, d\lambda), \quad (5)$$

where $x_1(r, \varphi_1)$, $x_2(r, \varphi_2)$.

We have the following decomposition from (5), when we use Addition Theorem by Bessel functions [2],

$$B(t-s, \varphi_1 - \varphi_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_0^2(r\lambda) \Phi(du, d\lambda) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_m^2(r\lambda) \Phi(du, d\lambda) \cos m(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (6)$$

Then follows that spectral coefficients are expressed in terms of the spectral function as

$$b_m(t-s, r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_m^2(r\lambda) \Phi(du, d\lambda). \quad (7)$$

Consider the following decomposition of a mean square continuous random field $\xi(t, x)$ which is homogeneous with respect to time and homogeneous isotropic with respect to the other variables, that is

$$\xi(t, r, \varphi) = \xi_{0,1}(t, r) + \sqrt{2} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\xi_{m,1}(t, r) \cos m\varphi + \xi_{m,2}(t, r) \sin m\varphi \right], \quad (8)$$

$$\xi(t, r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} \sqrt{\gamma_m} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{itu} J_m(\lambda r) Z_m^l(du, d\lambda) \cos m\varphi + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{itu} J_m(\lambda r) Z_m^l(du, d\lambda) \sin m\varphi \right], \quad (2)$$

where (ρ, φ) are polar coordinates of point x , $J_m(x)$ is the Bessel function of the first kind of order m and $\{Z_m^l(\cdot)\}$ are sequences of real valued orthogonal random measures on Borel subsets of the set $(-\infty, +\infty) \times [0, +\infty)$ such that

$$EZ_m^l(B_1) = 0, \quad EZ_m^l(B_1) Z_p^q(B_2) = \delta_m^p \delta_l^q \Phi(B_1 \cap B_2) \quad (3)$$

for all Borel subsets B_1 and B_2 of $R \times R_+$, $m, p = 0, 1, \dots$ and $l, q = 1, 2, \dots$, here $\Phi(u, \lambda)$ is the spectral function of the random field.

Moreover, the spectral measures $Z_m^l(B)$, $m = 0, 1, \dots$, $l = 1, 2, \dots$ are uniquely determined with probability one by the following relations

where $\xi_{m,k}(t, r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{itu} J_m(\lambda r) Z_m^k(du, d\lambda)$, $m = 0, 1, \dots$, $k = 1, 2$.

Note that we use in (8) a notation similar to (2).

Since $E\xi(t, r, \varphi) = 0$, we have $E\xi_{m,k}(t, r) = 0$, $k = 1, 2$.

Theorem 2. If $\xi(t, r, \varphi)$ is a random field in $R \times R^2$ which is homogeneous in time and homogeneous isotropic with respect to the spatial variables r, φ , then

$$E\xi_{m,i}(t, r) \xi_{r,j}(s, r) = \delta_m^r \delta_i^j b_m(t-s, r), \quad (9)$$

where δ_l^k is the Kronecker symbol, $\{b_m(t-s, r)\}$ is a sequence of positive definite kernels in $R \times R_+$ of the form (7) and such that $\sum_{m=1}^{\infty} b_m(0, r)$ and spectral coefficients are following integrals:

$$b_m(t-s, r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{i(t-s)u} J_m^2(r\lambda) \Phi(du, d\lambda),$$

The variance of the random field $\xi(t, r, \varphi)$ is expressed in terms of the spectral coefficients as

$$E\xi(t, r, \varphi)^2 = D\xi(t, r, \varphi) = b_0(0, r) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} b_m(0, r). \quad (10)$$

Thus the expansion (8) can be used for statistical simulation of random fields in $R \times R^2$ which are homogeneous with respect to time and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ if the spectral function (or correlation function) is specified.

1.2. Time homogeneous random 3D fields with a bounded spectrum

Consider a random field $\xi(t, r, \varphi)$ in $R \times R^2$. We say that $\xi(t, r, \varphi)$ is a random field with a bounded spectrum if all its spectral measures $Z_m^l(B)$ in (4) are concentrated in $[-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}] \times R_+$, $\tilde{\omega} > 0$.

Let $\xi(t, r, \varphi)$, $t \in R$, $r \in R_+$, $\varphi \in [0, 2\pi]$ be a random field in $R \times R^2$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r . Assume that the spectrum $\Phi(U, \Lambda)$ of the field ξ is bounded with respect to time t , $U \subset [-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}]$, $\Lambda \subset R_+$, and let $\Phi(U, \Lambda)$ be concentrated in $[-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}] \times R_+$.

Let ω be an arbitrary number such that $\omega > \tilde{\omega}$. Put

$$\xi_N(t, r, \varphi) = \sum_{k=-N}^N \zeta\left(\frac{k\pi}{\omega}, r, \varphi\right) \frac{\sin \omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)}{\omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)}. \quad (11)$$

Then the following assertion holds, see [9].

Theorem 3. Let $\xi(t, r, \varphi)$ be a random field in $R \times R^2$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ . If the spectrum of $\xi(t, r, \varphi)$ is bounded in time t then the mean square approximation with the help of partial sum (11) is such that

$$E|\xi(t, r, \varphi) - \xi_N(t, r, \varphi)|^2 \leq \frac{\gamma^2(t)}{N^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{\tilde{\omega}}{\omega}\right)^2} \left\{ \tilde{b}_0(0, r) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \tilde{b}_m(0, r) \right\}, \quad (12)$$

where

$$\tilde{b}_m(0, r) = \int_{|\lambda| \leq \tilde{\omega}} J_m^2(r\lambda) \Phi(du, d\lambda). \quad (13)$$

Corollary. Let $\xi(t, r, \varphi)$ be a random field in $R \times R^2$ whose spectrum is bounded in time t . Then $\xi(t, r, \varphi)$ admits the following Kotelnikov–Shannon decomposition:

$$\tilde{\xi}_{N,M}(t, r, \varphi) = \sum_{k=-N}^N \frac{\sin \omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)}{\omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)} \left[\zeta_{0,1}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right) + \sqrt{2} \sum_{m=1}^M \left(\zeta_{m,1}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right) \cos m\varphi + \zeta_{m,2}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right) \sin m\varphi \right) \right], \quad (15)$$

where $\zeta_{m,p}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right)$; $m=0,1,\dots,M$; $k=-\overline{N}, \overline{N}$; $p=1,2$ is a sequence of Gaussian stochastic processes such that

$$E\zeta_{m,p}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right) = 0, \quad E\zeta_{m,p}\left(\frac{k\pi}{\omega}, r\right) \zeta_{s,l}\left(\frac{q\pi}{\omega}, r\right) = \delta_l^s \delta_p^m \tilde{b}_m\left(\frac{(k-q)\pi}{\omega}, r\right). \quad (16)$$

It is known that $\{\tilde{b}_m(t-s, r)\}$ is a sequence of positive definite kernels in $R \times R_+$ that can be calculated by means of the spatial-temporal spectrum $\Phi(du, d\lambda)$ of the random field $\xi(t, r, \varphi)$ by expression (13) and such that satisfies following condition $\sum_{m=0}^{\infty} \tilde{b}_m(0, r) < \infty$.

For formulating the advanced procedure of numerical simulation the realizations of Gaussian 3D random field $\xi(t, r, \varphi)$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t it is necessary to derive more improved mean square estimate for the approximation of such random field by its approximation model (15). Such results are deduced in the next theorems.

Theorem 4. The mean square estimate for the approximation of random field $\xi(t, r, \varphi) = \xi(t, x)$ in $R \times R^2$ which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t by its approximation model (15) assumes following expression

$$\xi(t, r, \varphi) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \zeta\left(\frac{k\pi}{\omega}, r, \varphi\right) \frac{\sin \omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)}{\omega\left(t - \frac{k\pi}{\omega}\right)}, \quad (14)$$

where the series on the right hand side of (14) converges in the mean square sense for $\omega > \tilde{\omega}$.

2. The improved mean square estimate for the approximation and advanced procedure for the statistical simulation

The Kotelnikov–Shannon decomposition (14) of random fields in $R \times R^2$ with a bounded spectrum which are time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the other variables it is possible to use for the statistical simulation of such random fields with their defined statistical characteristics. By the simulating is important to improve the estimate of the mean square approximation (12) for using it in the advanced procedure for the numerical simulation realizations of these random fields. The variants of such estimates are obtained in the next theorems.

We use partial sum (8) and partial sum of decomposition (14) for a random field $\xi(t, r, \varphi)$ which are time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ to construct a model for such field if its spectrum is bounded with respect to time t and concentrated on an interval $[-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}] \times R_+$.

The following partial sum is taken as an approximation model of such 3D random field

$$E|\xi(t, r, \varphi) - \xi_N(t, r, \varphi)|^2 \leq \frac{1}{\pi M} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) + \frac{\gamma^2(t)}{N^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{\tilde{\omega}}{\omega}\right)^2} \tilde{B}_M(0, r), \quad (17)$$

where

$$\gamma(t) = \frac{4\left(\frac{\omega}{\pi}|t|+1\right)}{\pi}, \quad (18)$$

$$\tilde{\mu}_k = \int_{-\tilde{\omega}}^{+\tilde{\omega}} \int_0^{+\infty} \lambda^k \Phi(du, d\lambda), \quad k=1,2, \quad (19)$$

$$\tilde{B}_M(0, r) = \tilde{b}_0(0, r) + 2 \sum_{m=1}^M \tilde{b}_m(0, r).$$

Using the results from [10] another improved mean square estimate for the approximation of random field $\xi(t, r, \varphi)$ by the model (15) is obtained. Following theorems 5 and 6 are proved.

Theorem 5. The mean square estimate for the approximation of random field $\xi(t, r, \varphi) = \xi(t, x)$ in $R \times R^2$, which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t by its approximation model (15) is written as follows

$$E|\xi(t, r, \varphi) - \tilde{\xi}_{N,M}(t, r, \varphi)|^2 < \frac{1}{\pi M} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) + \frac{L_f^2 L_0^2(t) \omega^2}{(\omega - \gamma)^2 N^2} \tilde{B}_M(0, r), \quad (20)$$

where $\omega > \nu = \sup_{u \in \Lambda} |u|$ is an arbitrary number, Λ is an interval $[-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}]$,

$$L_0(t) = \frac{2}{1 - e^{-\pi}} \left(\frac{2}{\pi} \right) |\sin \omega t|. \quad (21)$$

Theorem 6. The mean square estimate for the approximation of random field $\xi(t, r, \varphi) = \xi(t, x)$ in $R \times R^2$, which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t by its approximation model (15) admits following expression

$$E|\xi(t, r, \varphi) - \tilde{\xi}_{N,M}(t, r, \varphi)|^2 \leq \frac{1}{M\pi} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) + \frac{4}{\pi^2 (2N-1)} \tilde{B}_M(0, r). \quad (22)$$

The improved mean square estimate for the approximation of a random field $\xi(t, r, \varphi)$ in $R \times R^2$, which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t by a model (15) are derived.

Applying previous principles of expansion and thinking as well as to the estimates (17), (20), (22), the similar three mean square estimates for the approximation of a random field $\xi(t, r, \varphi)$ in $R \times R^2$, which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the variables r, φ whose spectrum is bounded in t by a model (15) are obtained in [17] as

$$E|\xi(t, r, \varphi) - \tilde{\xi}_{N,M}(t, x)|^2 \leq \frac{\gamma^2(t)}{N^2} \frac{2\tilde{\mu}_0}{\left(1 - \frac{\tilde{\omega}}{\omega}\right)^2} + \frac{2}{\pi M} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) < \varepsilon, \quad (23)$$

$$|\xi(t, r, \varphi) - \tilde{\xi}_{N,M}(t, x)|^2 \leq 2\tilde{\mu}_0 \frac{L_0^2(t) \omega^2}{(\omega - \tau)^2 N^2} + \frac{2}{\pi M} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) < \varepsilon, \quad (24)$$

$$E|\xi(t, x) - \tilde{\xi}_{N,M}(t, x)|^2 \leq 2\tilde{\mu}_0 \frac{8}{\pi^2 (2N-1)} + \frac{2}{\pi M} \left(\frac{1}{2} r \tilde{\mu}_1 + r^2 \tilde{\mu}_2 \right) < \varepsilon, \quad (25)$$

where r is a polar radius, ω is an arbitrary number such that $\omega > \nu = \sup_{u \in \Lambda} |u|$.

Then the procedure for the statistical simulation the realizations of a Gaussian 3D random field which is time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to variables r, φ can be stated as follows if its spectrum is bounded in t .

The procedure

1. According to a prescribed accuracy $\varepsilon > 0$, choose positive integer numbers N and M for the model (15) by using one of the following inequalities (23), (24), (25).

2. For a fixed polar radius r , generate values of the Gaussian stochastic processes $\varepsilon_{m,p} \left(\frac{k\pi}{\omega}, r \right)$; $m = 0, 1, \dots, M$;

$k = -\overline{N}, \overline{N}$; $p = 1, 2$, such that satisfy conditions (16).

3. Evaluate the expression in (15) at a given point $(t, r, \varphi) \in [-T, T] \times A^2$, $A^2 \subset R^2$, by substituting the number N and values of Gaussian stochastic processes evaluated in steps 1 and 2.

4. Check whether the realization of the stochastic random field $\xi(t, r, \varphi)$ in the grid points in flat area of observa-

tion generated in step 3 fits the data of this random field by testing the corresponding statistical characteristics.

Numerical simulation example

The practical using of the constructed model (15) and procedures is considered for numerical simulation for real valued random field $\xi(t, r, \varphi)$ in $R \times R^2$ with a bounded spectrum, that are time homogeneous and homogeneous isotropic with respect to variables r, φ on in this example. It admits that this 3D random field have spatial-temporal covariance function $C(\tau, \rho)$. We may use approach, see [10] for such covariance functions that divides spatial and temporal components by means of product-sum formulas:

$$C(\tau, \rho) = k_1 C_x(\rho) C_t(\tau) + k_2 C_x(\rho) + k_3 C_t(\tau),$$

where k_1, k_2, k_3 – are coefficients:

$$k_1 = \frac{B_x(0) + B_t(0) - B_z(0,0)}{B_x(0)B_t(0)},$$

$$k_2 = \frac{B_z(0,0) - B_t(0)}{B_x(0)},$$

$$k_3 = \frac{B_z(0,0) - B_x(0)}{B_t(0)}.$$

We chose the spatial covariance function $C_x(\rho)$ which connected to spatial variogram $\gamma_x(\rho)$ on homogeneous isotropic case as: $\gamma_x(\rho) = C_x(0) - C_x(\rho)$. The example of spatial covariance function is $C_x(\rho) = C_x(0)B_x(\rho)$ where $C_x(0)$ spatial variance, $B_x(\rho)$ is a spatial correlation function Cauchy with the parameters $a=1$ and $\nu=1$:

$$B_x(\rho) = \left(1 + \frac{\rho^2}{a^2} \right)^{-\nu}, \quad a > 0, \quad \nu > 0.$$

The spatial variogram $\gamma_x(\rho)$ simulating by model (15) and results of realizations random field $\xi(t, r, \varphi)$ in the point $t=0$ on the grid of points on the plane (r_i, φ_i) , $r_i \in [0, 0.1, \dots, 1]$, $\varphi_i \in \left[0, \frac{2\pi}{10}, \dots, 2\pi \right]$ represented on (Fig. 1a).

The spatial-temporal variogram (Fig. 2):

$$\gamma_{t,x}(\rho) = (k_1 C_x(0) + k_3) \gamma_t(\tau) + (k_1 C_t(0) + k_2) \gamma_x(\rho) - k_1 \gamma_t(\tau) \gamma_x(\rho).$$

Temporal covariance function $C_t(\tau)$ which connected to temporal variogram $\gamma_t(\tau)$ on homogeneous case as: $\gamma_t(\tau) = C_t(0) - C_t(\tau)$, where $C_t(0)$ is a temporal variance. We choose as example of temporal covariance functions the next: $C_t(\tau) = C_t(0)B_t(\tau)$ where $B_t(\tau)$ is a temporal correlation function of Bessel type with parameter $\nu = 0.055$:

$$B_t(\tau) = 2^\nu \Gamma(1+\nu) \tau^{-\nu} J_\nu(\tau).$$

The temporal variogram is constructed for results of simulating realizations of random field $\xi(t, r, \varphi)$ by the model (15) in the point of space $(r, \varphi) = (0, 0)$ at the change of time t , $0 \leq t \leq T$ for example $T = 20.01$ seconds and $\Delta t = \frac{1}{\omega} = \frac{T}{N}$, $\Delta t = 0.01$, $\omega = 100$ (N is the number of experimental observations points at the time t_n ; $n = 1, \dots, N$; $N = 2001$) that represented on illustration (Fig. 1b).

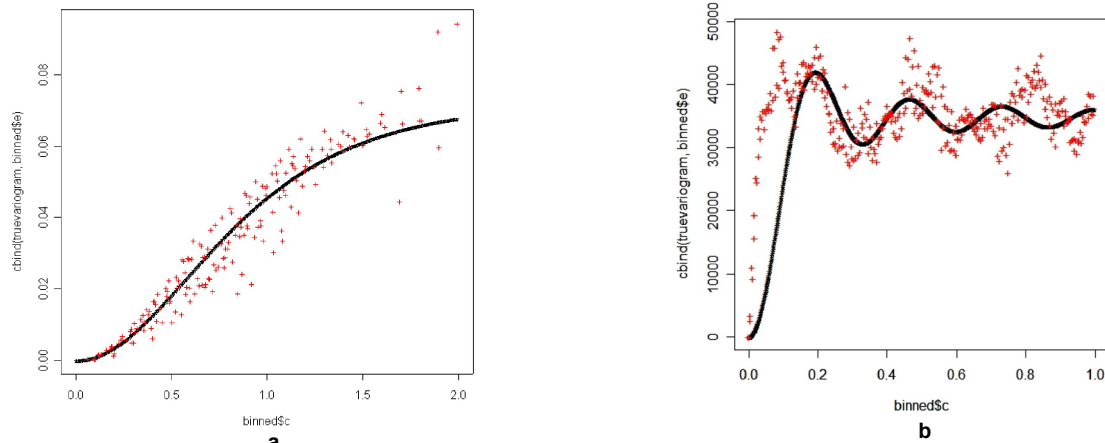


Fig.1. Empirical (crosses) and theoretical (curve) variogram:

a – for averaging 20 realizations of random fields $\xi(0, r, \varphi)$ with Cauchy type correlation function for parameters $a=1, v=1$; b – for averaging 15 realizations of random field $\xi(t, 0, 0)$ with Bessel type correlation function for parameter $v=0.055$

For graphic interpretation of the simulating realizations of the 3D random field $\xi(t, r, \varphi)$ the plot of field realizations $\xi(t, 0, 0)$ in times of experimental observations t from 0 to 20 seconds was constructed and wireframe surface $\xi(0, r, \varphi)$ was built by using Surfer Software of Surfer, on the grid of points on the plane that represented illustration.

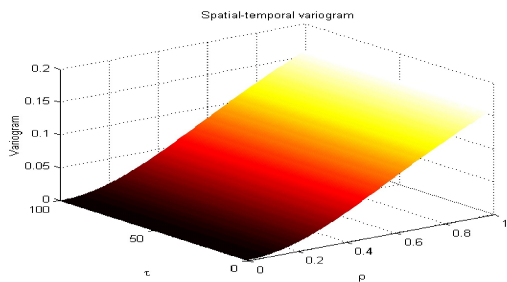


Fig. 2. The spatial-temporal variogram $\gamma_{t,x}(\tau, \rho)$

3. Practical use of 3D random field simulation with space-time correlation function

Different approaches [10] can be applied for practical use of the advanced algorithm and model (15) for numerical simulation of real and homogeneous in time t implementations, that are homogeneous and isotropic with respect to variables r, φ on $R \times R^2$ of random fields $\xi(t, r, \varphi)$, which have a limited spectrum and space-time correlation function $B_z(\tau, \rho)$. It should be noted that models of space-time correlation structure are divided into two types: first takes into account the distribution of the spatial and time components and other with no such distribution. Work [10] gives an example of application and most commonly used models, namely metric model, linear model, model of space-time covariance product and model of product and sum.

Practical use example in seismology of developed algorithm and numerical simulation model for real and homogeneous in time t implementations, two-dimensional homogeneous isotropic random fields with a limited spectrum and space-time correlation function $B_z(\tau, \rho)$ by method which divides the spatial and time components with product-sum formula described in [6].

The realization value arrays of random process $\xi(t, r, \varphi)$ (ρ, φ – fixed) were simulated as noise seismograms for each observation point on each component: EW,

NS, and Z. They give important information about soil vibration properties within the territory of building and operating sites. These properties are also required for design of new antiseismic buildings and constructions, and providing earthquake resistance of existing buildings in order to avoid dangerous resonance effects. Random disturbances from random external factors were removed from the simulated noise seismograms by statistical averaging filters. These disturbances include vibrations caused by the movement of trains or heavy car and so on. The adequacy of value array results from the simulated by statistical methods noise seismograms were tested on real seismograms from observation points on the flat area.

Numerical simulation of soil strata frequency characteristics in some cases can significantly reduce the cost of seismic zoning of building sites by reducing the number of instrumental observation points for earthquakes, explosions and microseism.

4. Spectral analysis of generated noise in the flat observation area

Frequency characteristic estimates for the geological environment with the flat observation area (under construction sites) can be obtained by calculating and constructing the amplitude and phase spectra of noise in seismogram observation points in that area, considering fixed all arguments except time [5]. Calculations of the amplitude and phase spectra can be made by direct method [1], i.e. periodogram method. Then based on these results the spectral ratio of the Earth crust was build, which is independent of the spectrum of incident seismic waves, but determined entirely by the geological environment structure under the observation point.

Those spectral methods that use frequency as an independent parameter provide information about the structure and filtration properties of the upper crust layers, because any medium is a filter that due to resonance and reverberation effects increases the oscillation amplitude for some frequencies and reduces for the other [1]. The ability to simulate the effects depends on amplitude and phase frequency characteristics of the geological environment for observation points situated under building sites and operating platforms, allows studying the geological section features and predicting places where significant increase in the seismic oscillation intensity is possible due to resonance effects and oscillation field interference nodes.

Among the many ways to eliminate the influence of various factors that affect the spectrum shape of seismic waves during earthquakes, explosions and microseism except that

due to the influence of the upper crust section part, the way should be noted based on the use of the vertical $|S_Z(\omega)|$ component spectra relations to the horizontal $|S_N(\omega)|$ component. Spectra must be calculated for the same wave. This ratio is called the crust spectral ratio $T(\omega)$.

$$|S_Z(\omega)| / |S_N(\omega)| = T(\omega)$$

The ratio $T(\omega)$ is independent of the spectrum of incident seismic waves, but determined entirely by the geological environment structure under the observation point.

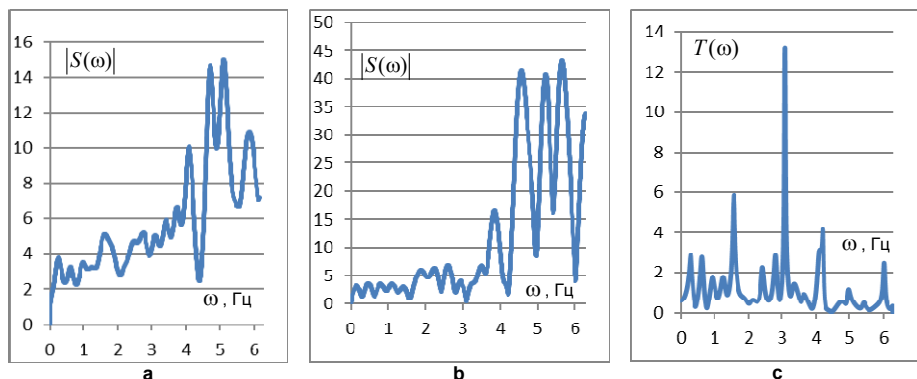


Fig. 3. Graphs of amplitude spectra $|S(\omega)|$ for simulated array noise realization for imaginary observation point on the component a – Z and b – NS; c – the graph of transmission ratio $T(\omega)$ for smoothed amplitude spectra of simulated noise realization for imaginary observation point

Interpretation of crust transmission ratio for these observations was conducted by comparing them with theoretical ratio calculated for well-known models of the upper section part. Fig. 3 shows graph $T(\omega)$ of smoothed amplitude spectra transmission ratio for imaginary observation point that can be used to determine the increase of seismicity level on different parts of the building site, relative to the real observation point.

Conclusions. The model and advanced algorithm of statistical simulation for time-homogeneous and homogeneous isotropic with respect to the two other variables 3D random fields with a limited spectrum were developed. These results continued research set in works [3-9, 17] for modeling and generation method of noise seismogram implementations at flat observation area [5] and it is an important supplement to the Monte Carlo method used in geology.

Список використаних джерел

1. Бат М. Спектральный анализ в геофизике : пер. с англ. М.: Недра, 1980. – 535 с.
2. Бейтмен Г. Высшие трансцендентные функции: Гипергеометрическая функция. Функции Лежандра / Г.Бейтмен, А.Эрдейи – М.: Наука, 1973. – 296 с.
3. Вижва З.О. Статистичне моделювання випадкових процесів та полів / З.О. Вижва – К.: Обрії, 2011. – 388 с.
4. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у двовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / З.О. Вижва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – № 59. – С. 65–67.
5. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у тривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / З.О. Вижва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2013. – № 60. – С. 69–73.
6. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у чотиривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / З.О. Вижва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2013. – № 61. – С. 69–71.
7. Вижва З.О. Визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками з використанням статистичного моделювання сейсмічного шуму на прикладі спостережень в м. Одесі / З.О. Вижва, О.В. Кендзера, К. В. Федоренко, А.С. Вижва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – №1(64). – С. 62–68.
8. Вижва З.О. Статистичне моделювання 3-D випадкового поля за розкладом Котельникова – Шеннона / З.О. Вижва, К. В. Федоренко // Теор. йм. та Мат. Стат. – 2013. – № 88. – С. 17–31.

Fig. 3 a and 1 b show graphs of amplitude spectra $|S(\omega)|$ for the initial simulated noise realization for imaginary observation point with the oscillation components Z and NS respectively, Figure 3 represents earth crust transmission ratio graph $T(\omega)$, that was built on the smoothed amplitude spectrum ratio of simulated noise seismogram realization on the fluctuation Z -component to the similar spectrum of fluctuation component NS for an observation point.

9. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму в багатовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / З.О. Вижва, К. В. Федоренко, А.С. Вижва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2014. – № 58. – С. 57–61.
10. Демьянов В.В. Геоэстатистика. / В.В. Демьянов, Е.А. Савельева; под ред. Р.В.Арутюняна – М.: Наука, 2010. – 327 с.
11. Оленко А.Я. Порівняння оцінок помилки апроксимації в теоремі Котельникова – Шеннона / А.Я. Оленко // Вісник Київ. нац. ун-ту. Математика і механіка. – 2005. – №13. – С. 41–45.
12. Пригарин С. М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей / С. М. Пригарин – Н.: ИВМ и МГ, 2005. – 259 с.
13. Chiles J.P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty / J.P. Chiles, P. Delfiner – John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto, 2009. – 720 p.
14. Gneiting T. Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. / T.Gneiting. – Von der Universität Bayeuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung, 1997. – 107 p.
15. Lantuejoul C. Geostatistical simulations: models and algorithm / C. Lantuejoul – Springer, 2001. – 256 p.
16. Mantoglov A. Simulation of random fields with turning bands method / A. Mantoglov, L. Wilson John // "MIT Ralph M.Parsons Lab. Hydrol. And Water Syst. Rept", 1981. – № 264. – 199 p.
17. Vyzhva Z. O. The advanced procedure of statistical simulation of seismic noise in the multidimensional area for determination the frequency characteristics of geological environment / Z. O. Vyzhva, K.V. Fedorenko, A.S. Vyzhva // Visn. Kyiv University. Geology. – 2015. – № 69. – С. 79–86.
18. Vyzhva Z. O. About Statistical Simulation of 4D Random Fields by Means of Kotelnikov-Shannon Decomposition / Z.O. Vyzhva, K.V. Fedorenko // Columbia International Publishing Journal of Applied Mathematics and Statistics. – 2016. – Vol. 3, № 2. – p. 59–81. doi:10.7726/jams.2016.1006
19. Watson G.N. A treatise on the theory of Bessel functions / G.N. Watson – 2nd ed. Cambridge University Press, 1949. – 804 p.
20. Yadrenko M.I. The Spectral Theory of Random Fields / M.I. Yadrenko – N.Y.: Optimization Software Inc, 1983. – 256 p.

References

1. Bath M. (1980). Spectral analysis in geophysics. M.: Nedra, 535 p. [In Russian].
2. Bateman H., Erdelyi A. (1973). Higher transcendental functions: The hypergeometric function. Functions of Legendre. M.: Nayka, 296 p. [In Russian].
3. Vyzhva Z. O. (2011). The statistical simulation of random processes and fields. Kyiv: Obrii, 388 p. [In Ukrainian].
4. Vyzhva Z. O. (2012). The statistical simulation of 2-D seismic noise for frequency characteristics of geology environment determination. Visn. Kyiv University. Geology, 59, 65–67. [In Ukrainian].
5. Vyzhva Z. O. (2013). The statistical simulation of 3-D seismic noise for frequency characteristics of geology environment determination. Visn. Kyiv University. Geology, 60, 69 – 73. [In Ukrainian].
6. Vyzhva Z. O. (2013). The statistical simulation of 4-D seismic noise for frequency characteristics of geology environment determination. Visn. Kyiv University. Geology, 61, 69– 71. [In Ukrainian].

7. Vyzhva Z. O., Kendzera O.V., Fedorenko K.V., Vyzhva A.S. (2012). The frequency characteristics of under-building-site geology environment determination by using the statistical simulation of seismic noise by the example of Odessa city. Visn. Kyiv University. Geology, 58, 57- 61. [In Ukrainian].
8. Vyzhva Z. O., Fedorenko K.V. (2013). The statistical simulation of 3-D random field by Kotelnikov-Shannon decompositions. Theor. Probability and Math. Statist., 88, 17- 31. [In Ukrainian].
9. Vyzhva Z. O., Fedorenko K.V., Vyzhva A.S. (2014). The statistical simulation of seismic noise in the multidimensional area for determination the frequency characteristics of geological environment. Visn. Kyiv University. Geology, 58, 57- 61. [In Ukrainian].
10. Demyanov V.V., Saveleva E.A. (2010). Geostatistics. Editor in Chief R.V. Arutyunyan. M.: Nauka, 327 p. [In Russian].
11. Olenko A.Ya. (2005). The compare of error approximation's estimations on the Kotelnikov-Shannon's theorem. Visn. Kyiv nats. University. Mathematics and Mechanics, 13, 41- 45. [In Ukrainian].
12. Prigarin S.M. (2005). Numerical Modeling of Random Processes and Fields. N.: Inst. of Comp. Math. and Math. Geoph., 259 p. [In Russian].
13. Chiles J.P., Delfiner P., (2009). Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty / John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto, 720 p.

14. Gneiting T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung, 107 p.
15. Lantuejoul C. (2001). Geostatistical simulations: models and algorithm. Springer, 256 p.
16. Mantoglov A., Wilson John L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. "MIT Ralph M.Parsons Lab. Hydrol. And Water Syst. Rept", 264, 199 p.
17. Vyzhva Z. O., Fedorenko K.V., Vyzhva A.S. (2015). The advanced procedure of statistical simulation of seismic noise in the multidimensional area for determination the frequency characteristics of geological environment. Visn. Kyiv University. Geology, 69, 79-86.
18. Vyzhva Z. O., Fedorenko K.V. (2016). About Statistical Simulation of 4D Random Fields by Means of Kotelnikov-Shannon Decomposition. Columbia International Publishing Journal of Applied Mathematics and Statistics, 3, 2, 59-81. doi:10.7726/jams. 2016.1006
19. Watson G.N. (1949) A treatise on the theory of Bessel functions. 2nd ed. Cambridge University Press, 804 p.
20. Yadrenko M.I. (1983). The Spectral Theory of Random Fields. N.Y.: Optimization Software Inc, 256 p.

Надійшла до редколегії 09.04.16

3. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.

E-mail: zoza_vyzhva@ukr.net;

К. Федоренко, асп.

E-mail: slims_mentol@mail.ru;

А. Вижва, асп.

E-mail: motomustanger@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

ПРО ПОКРАЩЕНИЙ АЛГОРИТМ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО ШУМУ В ПЛОСКІЙ ОБЛАСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

Робота присвячена подальшій розробці теорії та методів статистичного моделювання випадкових процесів та полів на основі їх спектральних розкладів та модифікованих інтерполяційних рядів Котельникова-Шеннона, а також застосуванню таких методів у задачах геофізичного моніторингу навоколишнього середовища. Розглянуто задачу статистичного моделювання випадкових полів у тривимірній області змінних (однорідних за часом та однорідних ізотропних за двома іншими змінними) при впровадженні у сейсмологічні дослідження для визначення частотних характеристик геологічного середовища. Побудовано модель та сформульовано покращений алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів на основі модифікованих інтерполяційних розкладів Котельникова-Шеннона для генерування адекватних реалізацій шуму сейсмограм. В статті вивчаються дійснозначні випадкові поля $\xi(t, x)$, $t \in R$, $x \in R^2$ – однорідні за часом та однорідні ізотропні за двома іншими змінними в двовимірному просторі. Розглядається проблема апроксимації таких випадкових полів випадковими полями з обмеженим спектром. Для випадкових полів з обмеженим спектром встановлено аналог теореми Котельникова-Шеннона. Отримано вдосконалені оцінки середньоквадратичного наближення випадкових полів у просторі $R \times R^2$ моделлю, побудованою на основі спектрального розкладу та інтерполяційної формули Котельникова-Шеннона. Розроблено покращений алгоритм статистичного моделювання реалізацій гауссівських однорідних за часом та однорідних ізотропних за просторовими змінними в двовимірному просторі випадкових полів з обмеженим спектром. Наведено теореми про оцінки середньоквадратичної апроксимації однорідних за часом та однорідних ізотропних за двома іншими змінними випадкових полів частковими сумами рядів спеціального вигляду, за допомогою яких сформульовано покращений алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів. Розглянуто способи проведення спектрального аналізу згенерованих реалізацій шуму сейсмограм. Розроблено універсальні методи статистичного моделювання (методи Монте-Карло) багатопараметричних сейсмологічних даних, які дають можливість вирішити проблеми генерування реалізацій шуму сейсмограм на плоскій області спостереження на сітці необхідної детальності та регулярності.

Ключові слова: статистичне моделювання, алгоритм, частотні характеристики, сейсмограма.

3. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.

E-mail: zoza_vyzhva@ukr.net;

К. Федоренко, асп.

E-mail: slims_mentol@mail.ru;

А. Вижва, асп.

E-mail: motomustanger@ukr.net;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

ОБ УЛУЧШЕННОМ АЛГОРИТМЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ПЛОСКОЙ ОБЛАСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Работа посвящена разработке теории и методологии статистического моделирования случайных процессов и полей на основе их спектральных разложений и модифицированных интерполяционных рядов Котельникова-Шеннона, а также применению таких методов в задачах геофизического мониторинга окружающей среды. Рассмотрена задача статистического моделирования случайных полей в трехмерной области переменных (однородных по времени и однородных изотропных по двум другими переменным) при внедрении в сейсмологические исследования для определения частотных характеристик геологической среды. Построена модель и сформулирован улучшенный алгоритм численного моделирования реалizations таких случайных полей на основании модифицированных интерполяционных разложений Котельникова-Шеннона для генерирования адекватных реалizations шума сейсмограм. В статье изучаются действительные значения случайные поля $\xi(t, x)$, $t \in R$, $x \in R^2$ – однородные по времени и однородные изотропные по пространственным переменным в двумерном пространстве. Рассматривается проблема аппроксимации таких случайных полей случайными полями с ограниченным спектром. Для случайных полей полями с ограниченным спектром установлено аналог теоремы Котельникова-Шеннона. Получены усовершенствованные оценки среднеквадратического приближения случайных полей в пространстве $R \times R^2$ моделью, которая построена на основе спектрального разложения и интерполяционной формулы Котельникова-Шеннона. Разработан улучшенный алгоритм статистического моделирования реалizations гауссовских однородных по времени и однородных изотропных по пространственным переменным случайных полей с ограниченным спектром. Доказано теоремы об оценке среднеквадратической аппроксимации однородных по времени и однородных изотропных по двум другими переменным случайных полей частковыми суммами рядов специального вида, при помощи которой сформулирован улучшенный алгоритм численного моделирования реалizations таких случайных полей. Рассмотрены способы проведения спектрального анализа сгенерированных реалizations шума сейсмограм. Разработаны универсальные методы статистического моделирования (методы Монте-Карло) многопараметрических сейсмологических данных, которые дают возможность решить проблемы генерирования реалizations шума сейсмограм на плоской области наблюдения на сетке необходимой детальности и регулярности.

Ключевые слова: статистическое моделирование, алгоритм, частотные характеристики, сейсмограмма.

УДК 550.8.053

О. Дзюба, асп.

E-mail: geoinformatic@ukr.net;

К. Нікітченко, асп.

E-mail: kostyanikitchenko@gmail.com;

Ю. Зеленко, асп.

E-mail: zelenko.yuri@gmail.com

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

ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ АНОМАЛІЙ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

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

Мета. Виявлення слабких аномалій та локалізації аномальних об'єктів північно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини на основі методів статистичної фільтрації та кореляційного аналізу. Дослідження факторів соляного тектогенезу геологічного середовища, що неоднозначно впливають на процес інтерпретації геофізичних полів.

Методика. Застосування алгоритмів адаптивної фільтрації для підвищення рівня якості отриманої корисної інформації із спостережених геофізичних полів. Вивчення основних проблем тектонічного районування регіону та пошуку вуглеводнів, пов'язаних з відсутністю апріорної інформації за гравіметричними даними.

Результати. Охарактеризовано основні етапи розвитку та застосування ймовірно-статистичних методів для обробки даних геофізичних полів. Проведений аналіз методик та алгоритмів для вирішення задач локалізації аномальних об'єктів на основі ймовірно-статистичних методів. Проаналізовано основні ймовірно-статистичні методи виявлення та оцінки сигналів (аномалій). Обґрунтовано доцільність розрахунку статистичних та фізичних характеристик (атрибутів) з метою вирішення низки задач тектонічного районування та оцінки структурно-тектонічних елементів. Описано методику роботи адаптивного фільтру як у одновимірному, так і у двовимірному випадках, що базується на оцінці автокореляційної функції вхідного сигналу. Проведено фільтрацію гравітаційного поля північно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини. Підтверджено високу адаптивність енергетичного фільтру в умовах складного і різноманітного прояву соляного тектогенезу.

Наукова новизна. Вперше застосовано адаптивний фільтр для аналізу гравіметричних даних північно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини. При цьому визначені області екстремальних значень. Їх виділення дозволяє більш ефективно вирішувати актуальну задачу тектонічного районування територій на стаціонарні області. Екстремальні значення статистичних атрибутів контролюють області порушення статистичної нестационарності геополів, які в свою чергу приурочені до геологічних границь або тектонічних зон.

Практичне значення. За результатами адаптивної фільтрації виділено регіональну та локальну складові гравітаційного поля. Це створює суттєвий потенціал підвищення корисного виходу з інформації, яку несуть спостережені фізичні поля. Аналіз результатів показує, що даний тип фільтру є досить ефективним при застосуванні його до гравіметричних даних, аномальні ефекти яких переважно викликані наявністю солених структур різного типу. Необхідно відзначити, що отримати результати такої ж якості за допомогою звичайної фільтрації досить складно, оскільки форма аномалій переважно ізометрична, а простягання мінливо змінюється по площі. Параметри адаптивного фільтру дають можливість локалізувати аномальні ефекти від геологічних тіл та виділити на фоні завад менш енергетичні аномалії. Вирішення таких завдань можна застосувати у задачах районування та пошуку вуглеводнів.

Ключові слова: статистична фільтрація, геофізичне поле, ймовірно-статистичні методи, локальна аномалія, адаптивний фільтр, базове вікно, автокореляційна функція, соляні структури, інтерпретація даних.

Постановка проблеми. У зв'язку з природним скороченням фонду родовищ корисних копалин, особливо в економічно розвинених районах, виникає необхідність збільшення запасів вуглеводневої сировини і підвищення ефективності робіт, пов'язаних з розробкою родовищ корисних копалин. Результат геофізичних робіт значною мірою залежить від повноти отриманої інформації під час проведення польових спостережень та створення моделей ефективних параметрів. При цьому, слід враховувати чимало факторів, що впливають на процес інтерпретації геофізичних даних, які не завжди вдається однозначно трактувати через неоднорідність та складність геологічної будови середовища.

На ранніх етапах моделювання родовищ корисних копалин виникає чимало проблем, пов'язаних з відсутністю апріорної інформації. У зв'язку з пошуками об'єктів, що залягають на значних глибинах, а також об'єктів, аномальні ефекти яких ускладнені завадами різної природи, в розвідувальній геофізиці набуває все більшого значення питання виявлення слабких сигналів (аномалій). Це, насамперед, стосується слабконтрастних за фізичними властивостями об'єктів та малорозмірних покладів вуглеводнів, сигнали від яких за амплітудою близькі до рівня завад або нижчі цього рівня. В таких умовах їх достовірне візуальне виявлення значною мірою ускладнене [7].

Збільшення глибини й роздільної здатності геофізичних методів робить актуальною задачу виділення сигналу на фоні завад, які можуть бути обумовлені апаратними і методичними похибками, неоднорідністю

ми верхньої частини розрізу, випадковими варіаціями фізичних полів. Особливо сильно це проявляється при слабкій диференціації фізичних властивостей об'єктів і вміщуючих порід або при значній глибинності досліджень і малих розмірах геологічних тіл.

Аналіз останніх досліджень. Задачам виділення аномалій традиційно приділяється значна увага при проведенні геофізичних зйомок в складно побудованих нафтогазових і рудоносних провінціях, де спостерігаються фізичні аномальні поля з різкою зміною фізичних властивостей гірських порід в межах відносно невеликих ділянок. Для обробки даних раніше застосовувалися виключно детерміновані методи із використанням аналітичних способів на основі теорії потенціалу (гравірозвідка, магніторозвідка), рівняння Максвелла (електророзвідка на змінному струмі), теорії пружності (сейморозвідка). При детермінованому підході вирішення задачі визначається системою вихідних значень геофізичного поля. В такому випадку нехтують стохастичними спотвореннями вихідної інформації. Ряд науковців (Б.А. Андреев, А.Г. Тархов, А.Н. Тихонов та ін.), розуміючи необхідність врахування завад, застосовували достатньо прості методи для їх нівелювання, такі як осереднення та інтегральні методи інтерпретації.

Роботи Ф.М. Гольцмана, А.Г. Тархова, Т.А. Христіча [1, 11-13], поклали початок принципово новому підходу щодо обробки геофізичних даних, заснованому на застосуванні моделі випадкової функції. Він полягає в тому, що отримані в окремих точках значення поля розглядалися як спостереження випадкових полів [8].

У 1963 р. розпочався процес впровадження аналогових пристроїв та ЕОМ в практику геофізичних робіт. Ряд вчених поряд з функціонально-аналітичним напрямком використовували ймовірно-статистичні методи обробки та інтерпретації геофізичних даних в сейсморозвідці (Ф.М. Гольцман, Е.А. Козлов, С.А. Гольдін, С.А. Кац, Е.Л. Робінсон, С.В. Трейтел), а згодом в методах структурної та рудної геофізики (О.А. Демидович, А.А. Нікітін, Г.І. Каратаєв, Н.Н. Бровко, В.І. Аронов) [4, 6-9].

При вирішенні задач виділення сигналу на фоні завади переважно використовувалася адитивна модель поля. Сигнал може бути детермінованим, тобто описується функцією певного виду, або випадковим з певними статистичними характеристиками. Завада являє собою випадкову функцію. При гіпотезі стаціонарності завади, зазвичай, використовують лінійні фільтри. Зміна властивостей завади в часі або просторі призводить до необхідності застосування нелінійних фільтрів. У випадку, коли сигнал описується у вигляді детермінованої функції, а завада – у вигляді випадкового поля, широко застосовують метод найменших квадратів [10].

Встановлення самого факту наявності чи відсутності сигналу є окремою задачею. Виходять з того, що фільтрація повинна забезпечити максимальне відношення сигнал/завада навіть при істотному спотворенні форми сигналу. Така постановка задачі призводить до синтезу фільтру, оптимального за критерієм максимуму пікового відношення сигнал/завада.

Обмеженість апіорної інформації обумовила використання при обробці геофізичних даних суттєво складнішого апарату – нелінійної фільтрації [3]. З методом максимуму відношення сигнал/завада пов'язані самоналаштовувані процедури фільтрації [5] (термін введений професором А.А. Нікітиним). Застосування комплексу даних, одержаних кількома геофізичними методами, сприяє більш достовірному виділенню аномалій на фоні завад.

Визначним фактором при обробці комплексних геофізичних полів, як і в методах виділення сигналів, є повнота і достовірність апіорної інформації щодо розвідувальних об'єктів. Статистичні методи обробки геофізичних спостережень дозволяють отримати інформацію на основі даних в умовах, коли інтенсивність аномалій може бути співставлена з рівнем завад. Однак, ефективність статистичних методів залежить від наявності апіорної інформації відносно досліджуваних об'єктів чи зв'язаних з ними аномалій. Як правило, такої інформації недостатньо для вирішення геологічних задач, тому з'являється фактор апіорної невизначеності, що залишається актуальним в статистичній теорії інтерпретації геофізичних полів.

Методика та результати дослідження. В пошуковій геофізиці при обробці даних геофізичних полів особлива увага приділяється виявленню слабких аномалій. Під слабкою аномалією слід розуміти сигнал, який за амплітудою можна порівняти з рівнем завади або нижчий цього рівня і, тому, його достовірне візуальне виявлення практично неможливе. Серед методів виявлення слабких аномалій найбільш широко використовуються алгоритми, побудовані на умовах прийняття статистичних рішень і перевірці статистичних гіпотез. Незважаючи на високу ступінь формалізації даного напрямку обробки геофізичних даних, його практична реалізація зустрічає істотні труднощі, які в першу чергу пов'язані з невідповідністю прийнятої математичної моделі реальним геолого-геофізичним процесам. В обчислювальних процедурах оптимальним чином повинні враховуватися умови коректного застосування теоретичних результатів, отриманих з позицій теорії випадкових безперервних функцій і лінійної оптимальної фільтрації, для аналізу кінцевої, дискретної геоінформації [2].

Першочерговим етапом на шляху пошуку слабких аномалій є процес моделювання геофізичного поля та його подальшої фільтрації. Таким чином, вирішуються завдання розкладання геофізичних полів на складові, відновлення аномалій, ускладнених завадами та виявлення слабконтрастних аномалій. Алгоритм одновимірного лінійного оптимального фільтру зводиться до наступного:

- за профільними значеннями геофізичного поля проводиться оцінка автокореляційної функції;
- вибирається розмір вікна фільтрації за значенням показника радіусу кореляції;
- розраховуються вагові коефіцієнти конкретного оптимального фільтру на основі інформації про кореляційні властивості корисного сигналу і завади;
- в ковзаючому вікні фіксованого розміру розраховуються значення поля разом із ваговими коефіцієнтами.

Основні характеристики одновимірного фільтру, його довжина і вагові коефіцієнти розраховуються одноразово для всього профілю спостережень. Оцінки параметрів сигналу і завади, отримані за вихідними даними для нестационарних полів не є достовірними і, відповідно, вагові коефіцієнти лінійного фільтра, обчислені на їх основі, не будуть актуальними для конкретного критерію оптимальності. Слід зауважити, що структура автокореляційної функції, розрахована вздовж профілю спостережень, відображає кореляційні характеристики найбільш енергоємних аномалій. Відповідно, в результаті енергетичної фільтрації, що базується на оцінці автокореляційної функції вхідного сигналу при некорельованій заваді, оптимальним чином будуть оцінені параметри саме цих аномалій. Для оцінки параметрів менш енергетичних аномалій, тобто аномалій з іншими спектрально-кореляційними характеристиками, необхідна повторна фільтрація локального (залишкового поля), за яке приймається різниця між вихідним полем і результатом першої фільтрації.

Тому виникає необхідність у використанні енергетичного фільтру, що автоматично реагує на зміну спектрально-кореляційних характеристик вздовж профілю безпосередньо під час фільтрації і дозволяє оцінити форму аномалії, не повертаючись до повторної фільтрації локального поля. Процес адаптивної фільтрації вимагає постійного визначення розмірності базового вікна, параметри якого не повинні бути меншими найбільш протяжних аномалій. За точками, що попадають в базове вікно, оцінюють кореляційні характеристики поля в околі кожної точки.

В якості прикладу розглянемо гравітаційне поле північно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини, ускладнене діапировими структурами соляного тектогенезу (рис. 1). В гравітаційному полі переважна кількість структур виражена від'ємними, в більшості випадків високоінтенсивними, різноградієнтними аномаліями ізометричної форми, оскільки густина солі істотно менша густини вміщуючих карбонатно-теригенних порід. Складніше проявлені криптодіапирові структури, в ядрах яких залягають соляні лінзи. В залежності від співвідношення об'єму соляних мас, глибини залягання їх поверхні та величини компенсуючого впливу перекиваючих антиклінальних структур, вони проявляються як додатніми, так і від'ємними аномаліями. Специфічну форму прояву мають штоки з високим рівнем прориву солі на ділянках поширення крейдових відкладів. В таких випадках у верхній частині розрізу густина кам'яної солі ($2,20 \text{ г/см}^3$) більша, ніж густина вміщуючих порід ($2,08\text{--}2,12 \text{ г/см}^3$). Від'ємна аномалія погано виділяється в центральних частинах таких геологічних утворень за рахунок різноградієнтних локальних максимумів [6].

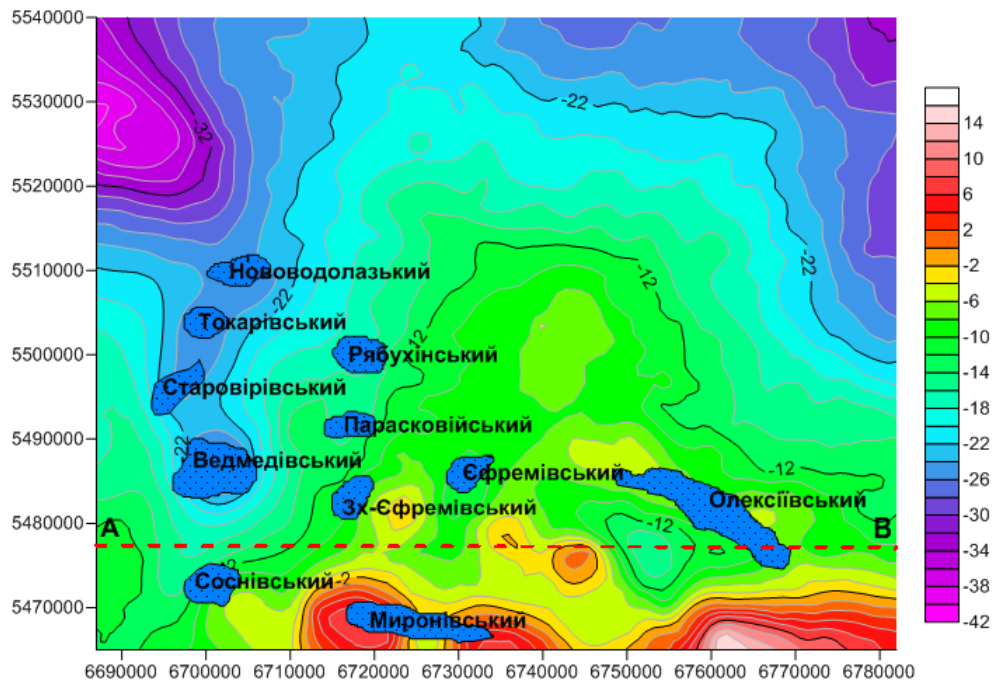


Рис. 1. Карта гравітаційного поля південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини
Крапками виділені соляні структури, пунктирна лінія – профіль досліджень.
Одиниці виміру значення поля сили тяжіння ΔG , мГл

Незважаючи на всю складність геологічної будови та аномальних ефектів гравітаційного поля (рис. 2), аналіз отриманих результатів підтверджує високу адаптивність енергетичного фільтру в умовах складного і різноманітного прояву соляного тектогенезу. За результатами фільтрації на лінії профілю виявлено дві локальні

аномалії (рис. 3), які теоретично в геологічному плані можуть відповідати Олексіївській структурі. Параметри менш енергетичних аномалій, що простежувалися у лівій та правій частинах, зніжувалися і на графіку локального поля наближаються до нуля.

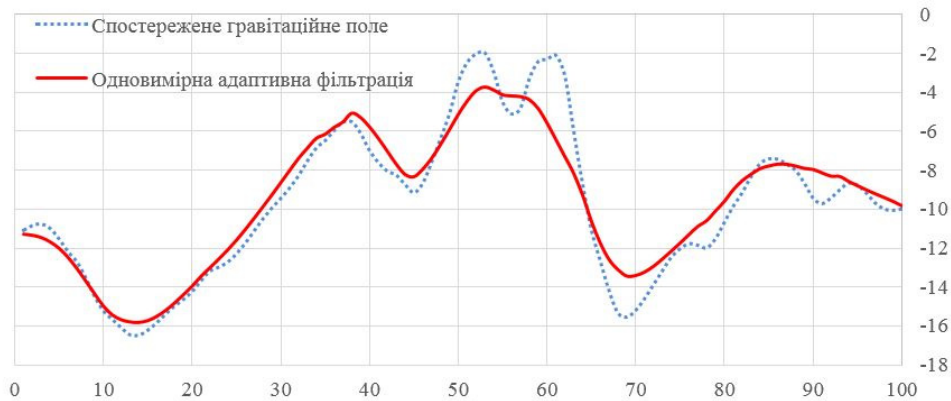


Рис. 2. Одновимірна адаптивна фільтрація виконана вздовж профіля АВ
Вісь абсцис – нумерація пікетів. Вісь ординат – значення поля сили тяжіння ΔG , мГл

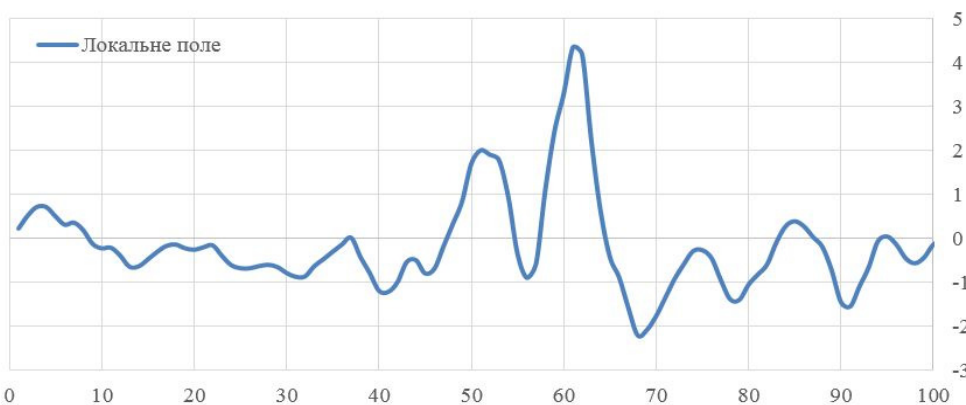


Рис. 3. Локальне поле за результатами одновимірної адаптивної фільтрації вздовж профіля АВ
Вісь абсцис – нумерація пікетів. Вісь ординат – значення поля сили тяжіння ΔG , мГл

Таким чином, в адаптивному алгоритмі для отримання профільованого значення поля в кожній точці вибираються власні параметри фільтра – довжина вікна фільтрації та вагові коефіцієнти. При цьому характеристики фільтра налаштовуються на оцінки параметрів найбільш енергоємних аномалій в околицях базового вікна окремої точки спостережень. Якщо в околі точки відсутні аномалії, то ширина вікна фільтрації буде мінімальною і вагові коефіцієнти фільтра будуть повністю визначатися спектрально-кореляційними характеристиками завади. При наявності в околі точки об'ємних аномалій ширина вікна фільтрації буде максимальною і відповідно вагові коефіцієнти будуть визначатися спектрально-кореляційними характеристиками цих аномалій. В алгоритмі адаптивного фільтра потрібно підкреслити ряд особливостей:

- визначення параметрів базового вікна на основі оцінки радіусу кореляції, що співпадає з довжиною найбільш протяжних аномалій, є оптимальним в реалізації процесу послідовного виділення складових поля у відповідності до їх енергії;
- адаптивний фільтр є низькочастотним, що дозволяє уникнути помилки пов'язаної з пропуском енергоємних аномалій в межах базового вікна;
- зміна параметрів вікна фільтрації від точки до точки, у відповідності зі зміною спектрально-кореляційних властивостей поля вздовж профілю, дозволяє налаштовувати частотні характеристики фільтра на виділення найбільш енергоємних аномалій в межах базового вікна.

У двовимірному варіанті, для врахування зміни параметрів поля, фільтрація виконується в прямокутному вікні при різних його нахилах. Вибір фіксованого нахилу вікна фільтрації можна порівняти зі смуговою лінійною фільтрацією в одновимірному виконанні, при якій коректно виділяються лише складові дуже вузького спектрального діапазону, а форма сигналів інших частин спектру – спотворюється. При адаптивній фільтрації в околі базового вікна кожної точки спостереження виконується локальна фільтрація з унікальними параметрами та ваговими коефіцієнтами, які показують зміну спектрально-кореляційних характеристик по площі. Використання звичайного (неадаптивного) фільтра призводить до "розмивання" аномалії при розбіжності нахилу вікна

фільтрації з простяганням аномалії. Застосування адаптивного фільтра дозволяє уникнути подібного негативного ефекту за рахунок його здатності адаптуватися до зміни кореляційних характеристик поля безпосередньо в процесі фільтрації [9].

Поділ поля на складові аномальні компоненти, обумовлені геологічними об'єктами різної природи, глибиною залягання і розмірами, є найважливішим завданням інтерпретації геофізичних спостережень. В першу чергу, це пояснюється тим, що не дивлячись на досягнення в області розв'язку обернених задач, найбільш ефективні і надійні рішення отримані для простих аномальних кривих за умови відсутності перешкоди, найчастіше відповідних тіл правильної геометричної форми. Крім цього, великий практичний інтерес представляє вирішення задачі оцінки форми аномалій, що можуть бути порівняні за амплітудою з рівнем перешкод, з метою коректного визначення параметрів індуючих їх геоб'єктів.

Застосування двовимірної адаптивної фільтрації дозволило розкласти гравітаційне поле на регіональну та локальну складові (рис. 4). Аналіз результатів показує, що даний тип фільтра є досить ефективним при застосуванні його до гравітаційного поля, аномальний ефект якого переважно викликаний наявністю соленосних структур різного типу. Необхідно відзначити, що отримати результати такої ж якості за допомогою звичайної фільтрації досить складно, оскільки форма аномалій переважно ізометрична, а простягання мінливо змінюється по площі. Параметри самоналаштування адаптивного фільтра дають можливість локалізувати аномальні ефекти від геологічних тіл та виділити на фоні завад менш енергетичні аномалії. Вирішення таких завдань можна застосувати у задачах районування та пошуку вуглеводнів. Зокрема, за емпіричною закономірністю І.М. Михайлова всім без винятку покладам і родовищам вуглеводнів в гравітаційному полі відповідають локальні від'ємні аномалії, амплітуда яких складає від 0,03 мГл для нафти і 0,3 мГл для газу. Враховуючи, що помилка високоточних одиничних спостережень складає 0,005-0,03 мГл, застосування алгоритмів лінійної фільтрації є цілком прийнятним для виділення таких аномалій.

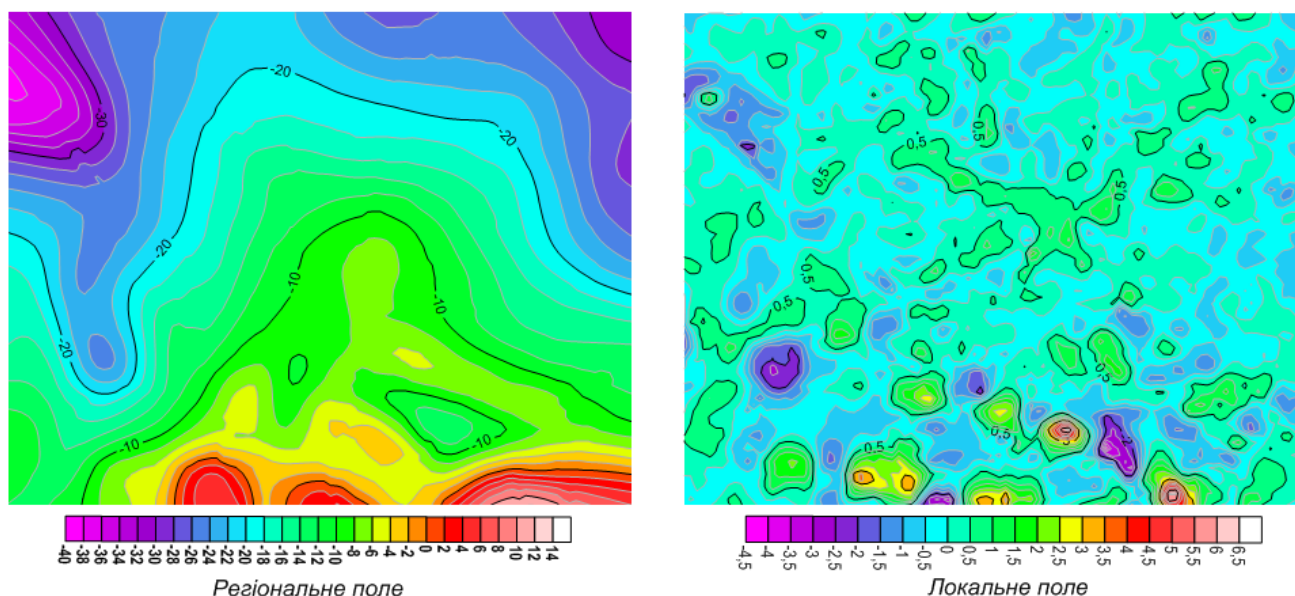


Рис. 4. Результати двовимірної адаптивної фільтрації гравітаційного поля південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини. Одиниці виміру поля сили тяжіння ΔG , мГл

Висновки. На сьогоднішній день в достатній мірі розроблена методологія статистичної фільтрації для виявлення та оцінки параметрів слабких аномалій геофізичних полів як у одновимірному, так і у багатовимірному виконаннях. Проте актуальною залишається проблема оптимізації статистичних фільтрів, зокрема за рахунок варіації параметрів ковзаючих вікон, а також використання характеристик локальних неоднорідностей полів. Насамперед, це стосується задач тектонічного районування та оцінки структурно-тектонічних елементів. Цей напрямок створює суттєвий потенціал підвищення корисного виходу з інформації, яку несуть спостережені фізичні поля. Не менш важливою є розробка оптимізаційних процедур, спрямованих на виділення сигналу від кількох джерел та формування бази даних статистичних та фізичних атрибутів, що дасть можливість підвищити ефективність роботи класифікаційних алгоритмів у вирішенні задач тектонічного районування та пошуку вуглеводнів.

Список використаних джерел

1. Гольцман Ф. М. Статистические методы интерпретации / Ф. М. Гольцман. – М.: Наука, 1971. – 283 с.
2. Губерман Ш. А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике / Ш. А. Губерман. – М.: Недра, 1987. – 262 с.
3. Девис Дж. Статистический анализ данных в геологии / Дж. С. Девис. – М.: Недра, 1990. – 319 с.
4. Демидович О. А. Выделение слабых геофизических аномалий статистическим способом / О. А. Демидович. – М.: Недра, 1969. – 112 с.
5. Демура Г. В. Выделение геофизических аномалий с помощью самообучающихся фильтров / Г. В. Демура // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1973. – №9. – С. 49-58.
6. Каратаев Г. И. Корреляционная схема геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий / Г. И. Каратаев. – Н.: Наука, 1966. – 135 с.
7. Никитин А. А. Статистические методы выделения геофизических аномалий / А. А. Никитин. – М.: Недра, 1979. – 280 с.
8. Никитин А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации / А. А. Никитин, А. В. Петров. – М.: Недра, 2008. – 342 с.

9. Никитин А. А. Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных "Коскад 3D" / А. А. Никитин, А. В. Петров. – М.: Недра, 2004. – 65 с.
10. Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков / Д. А. Родионов. – М.: Недра, 1968. – 158 с.
11. Тархов А. Г. О математической обработке геофизических данных / А. Г. Тархов, А. А. Сидоров. // Изв. АН СССР. Сер. геофизическая. – 1960. – №10. – С. 1450-1457.
12. Тархов А. Г. Принципы комплексирования в разведочной геофизике / А. Г. Тархов, В. М. Бондаренко, А. А. Никитин. – М.: Недра, 1977. – 212 с.
13. Христин Т. А. К использованию способа самонастраивающейся фильтрации при решении задач геологического картирования геофизическими методами. / Т. А. Христин, А. Г. Никитин. – М.: Недра, 1977. – 91 с.

References

1. Goltsman F. M. (1971) Statisticheskie metody interpretatsii. M.: Nauka, 283 p. [in Russian].
2. Guberman Sh. A. (1987) Neformalnyy analiz dannykh v geologii i geofizike. M.: Nedra, 262 p. [in Russian].
3. Davis D. (1990) Statisticheskiy analiz dannykh v geologii. M.: Nedra, 319 p. [in Russian].
4. Demidovich O. A. (1969) Vydelenie slabyykh geofizicheskikh anomalii statisticheskim sposobom. M.: Nedra, 112 p. [in Russian].
5. Demura G. V. (1973) Vydelenie geofizicheskikh anomalii s pomoshchyu samoobuchayushchisya filtrov. // Izv. vuzov. Geologiya i razvedka, 9, 49-58. [in Russian].
6. Karataev G. I. (1966) Korrelyatsionnaya shema geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh i magnitnykh anomalii. N.: Nauka, 135 p. [in Russian].
7. Nikitin A. A. (1979) Statisticheskie metody vyideleniya geofizicheskikh anomalii. M.: Nedra, 280 p. [in Russian].
8. Nikitin A. A., Petrov A. V. (2008) Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoy informatsii. M.: Nedra, 342 p. [in Russian].
9. Nikitin A. A., Petrov A. V. (2004) Kompleks spektralno-korrelyatsionnogo analiza dannykh "Koskad 3D". M.: Nedra, 65 p. [in Russian].
10. Rodionov D. A. (1968) Statisticheskie metody razgranicheniya geologicheskikh obyektoy po kompleksu priznakov. M., Nedra, 158. [in Russian].
11. Tarhov A. G. (1960) O matematicheskoy obrabotke geofizicheskikh dannykh. // Izv. AN SSSR. Ser. geofiz., 10, 1450-1457. [in Russian].
12. Tarhov A. G. (1977) Printsipy kompleksirovaniya v razvedochnoy geofizike. M.: Nedra, 212 p. [in Russian].
13. Hristich T. A. (1977) K ispolzovaniyu sposoba samonastraiyusheysya filtratsii pri reshenii zadach geologicheskogo kartirovaniya geofizicheskimi metodami. M.: Nedra, 91 p. [in Russian].

Надійшла до редколегії 11.06.16

O. Dziuba, PhD student
E-mail: geoinformatic@ukr.net;
K. Nikitchenko, PhD student
E-mail: kostyanikitchenko@gmail.com;
Y. Zelenko, PhD student,
E-mail: zelenko.yuri@gmail.com;
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

DETECTION OF WEAK ANOMALIES OF GEOPHYSICAL FIELDS BASED ON THE METHODS OF STATISTICAL FILTERING

This paper discusses the problem of detection of weak anomalies and localization of anomalous objects of the north-eastern part of the Dnieper-Donets basin based on statistical methods of filtering and correlation analysis. Investigation of salt tectonogenesis factors in geological environment and their influence on the interpretation of geophysical fields are made.

Possible application of adaptive filtering algorithms in order to improve useful information obtained from observed geophysical fields is proposed. The main problems of regional tectonic subdivisions and searches for hydrocarbons caused by the absence of prior gravimetric data are studied.

Basic stages of development and application of probabilistic and statistical methods for data processing of geophysical fields is characterized. The paper analyses methods and algorithms used to determine possible localization of the abnormal objects based on probabilistic and statistical methods. The authors propose basic probabilistic and statistical methods in order to identify and evaluate signals (anomalies). Feasibility of calculation of statistical and physical characteristics (attributes) to resolve a number of problems of regional tectonic subdivision and assessment of structural and tectonic elements is substantiated. Methodic of adaptive filter usage based on the evaluation of the autocorrelation function of the input signal is proposed in both one-dimensional and two-dimensional versions. Filtering analyses of gravitational field in the north-eastern part of the Dnieper-Donets basin is carried out.

For the first time, the adaptive filter is applied to analyze gravity data of the north-eastern part of the Dnieper-Donets basin. It is established that at doing analysis of geophysical fields much attention should be focused on the field of extreme values. Their selection can help to solve more effectively current problem of regional tectonic subdivision into fixed area. Extreme value of statistical attribute control regions of disruption of statistical non-stationary of geofields, which in turn are confined to the boundaries of geological or tectonic zones.

Regional and local components of the gravitational field are distinguished by the results of adaptive filtering. This creates a significant potential to increase the output of useful information that have observed physical fields. The results obtained shows that this type of filter is extremely effective at its application to the gravimetric data, anomalous effects of which are mainly confined to the salt structures of various types. Adaptive filter options enable to localize the abnormal effects of geological bodies and allocate less background noise power anomalies. Such a problem-solving s can be applied at regional subdivision and searches for hydrocarbons.

Keywords: statistical filtering, geophysical field, probabilistic and statistical methods, local anomaly, adaptive filter, basic window, autocorrelation function, salt structure, interpretation of data.

О. Дзюба, асп.

E-mail: geoinformatic@ukr.net;

К. Нікітченко, асп.

E-mail: kostyanikitchenko@gmail.com;

Ю. Зеленко, асп.

E-mail: zelenko.yuri@gmail.com;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ВЫДЕЛЕНИЕ СЛАБЫХ АНОМАЛИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Цель. Обнаружение слабых аномалий и локализация аномальных объектов северо-восточной части Днепровско-Донецкой впадины на основе методов статистической фильтрации и корреляционного анализа. Исследование факторов соляного тектогенеза геологической среды и их влияния на процесс интерпретации геофизических полей.

Методика. Применение алгоритмов адаптивной фильтрации для повышения уровня качества получаемой полезной информации из наблюдаемых геофизических полей. Изучение основных проблем тектонического районирования региона и поиска углеводородов, связанных с отсутствием априорной информации по гравиметрическим данным.

Результаты. Охарактеризованы основные этапы развития и применения вероятностно-статистических методов для обработки данных геофизических полей. Проведен анализ методик и алгоритмов для решения задач локализации аномальных объектов на основе вероятностно-статистических методов. Проанализированы основные вероятностно-статистические методы выявления и оценки сигналов (аномалий). Обоснована целесообразность расчета статистических и физических характеристик (атрибутов) с целью решения ряда задач тектонического районирования и оценки структурно-тектонических элементов. Описана методика работы адаптивного фильтра как в одномерном, так и в двумерном исполнении, основанного на оценке автокорреляционной функции входного сигнала. Проведено фильтрацию гравитационного поля северо-восточной части Днепровско-Донецкой впадины. Подтверждена высокая адаптивность энергетического фильтра в условиях сложного и разнородного проявления соляного тектогенеза.

Научная новизна. Впервые применен адаптивный фильтр для анализа гравиметрических данных северо-восточной части Днепровско-Донецкой впадины. При этом установлены области экстремальных значений. Их выделение позволяет более эффективно решать актуальную задачу тектонического районирования территорий на стационарные области. Экстремальные значения статистических атрибутов контролируют области нарушения статистической нестационарности геополей, которые в свою очередь приурочены к геологическим границам или тектоническим зонам.

Практическая значимость. По результатам адаптивной фильтрации выделены региональная и локальная составляющие гравитационного поля. Это создает существенный потенциал повышения полезного выхода из информации, которую несут наблюдаемые физические поля. Анализ результатов показывает, что данный тип фильтра является достаточно эффективным при применении его к гравиметрическим данным, аномальные эффекты которых приурочены преимущественно к соленосным структурам различного типа. Необходимо отметить, что получить результаты такого же качества с помощью обычной фильтрации достаточно сложно, поскольку форма аномалий в большинстве случаев изометрическая, а простирание изменчиво по площади. Параметры адаптивного фильтра позволяют локализовать аномальные эффекты от геологических тел и выделить на фоне помех менее энергетические аномалии. Решение таких заданий возможно применять для районирования и поиска углеводородов.

Ключевые слова: статистическая фильтрация, геофизическое поле, вероятностно-статистические методы, локальная аномалия, адаптивный фильтр, базовое окно, автокорреляционная функция, соляные структуры, интерпретация данных.

ВИДАТНІ ОСОБИСТОСТІ

УДК 929

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: pavel@univ.kiev.ua;

О. Вакуленко, інж.;

О. Козіонова, пров. інж. НДЧ

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

РОСТИСЛАВ СЕРГІЙОВИЧ ФУРДУЙ – ЕНТУЗІАСТ ГЕОЛОГІЧНОЇ СПРАВИ

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

У статті висвітлено виробничу, наукову, викладацьку та музейну діяльність кандидата геолого-мінералогічних наук Ростислава Сергійовича Фурдуй, більша частина якої була пов'язана з геологічним факультетом Київського університету. Авторами використано власні враження та численні матеріали про Р.С. Фурдуй, що характеризують його плідне виробниче, педагогічне та наукове життя, особисті уподобання та захоплення. У статті описаний навчально-науковий та творчий доробок Ростислава Фурдуй, у тому числі, унікальні розробки цього фахівця в Геологічному музеї, виконані впродовж 2002-2012 рр. Виокремлено основні етапи життєвого шляху видатної людини, проаналізовано його внесок у навчально-пізнавальний процес на геологічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Ключові слова: Ростислав Сергійович Фурдуй, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, геологічний факультет, Геологічний музей, геолог, строматоліти, палеонтолог, уфолог, музейні розробки.

*Дві речі на світі наповнюють мою душу священним трепетом –
зоряне небо над головою і моральний закон всередині нас.
Іммануїл Кант*

Вступ. Серед випускників-геологів Київського національного університету імені Тараса Шевченка є багато цікавих особистостей, які залишили нащадкам різноманітну наукову, літературну та музейну спадщину. Яскравим прикладом плеяди талановитих геологів є випускник 1956 року Ростислав Сергійович Фурдуй – людина широких наукових інтересів та різноманітних талантів. Саме геологічна професія стала його покликанням, сформувала та виявила обдарованість цього фахівця.

Р.С.Фурдуй працював геологом на Крайній Півночі, викладачем геологічних кафедр, науковцем у Науково-дослідній частині та співробітником Геологічного музею. Як відомо, геологічні музеї зберігають різноманітні зразки гірських порід, викопні рештки, експонати, пов'язані з історією, багатствами і загадками нашої планети, що дозволяє сучасному поколінню наочно знайомитися з різними геологічними об'єктами та поглиблювати знання з геології. Додавання описів, фотографій та іншої інформації, відбір експонатів є кропіткою працею, яка дозволяє суттєво розширити та покращити експозицію музею. І тому дуже важливо, коли в такій установі працюють ентузіасти своєї справи. Адже саме вони генерують багато цікавих ідей та втілюють їх у своїй роботі. Такою творчою людиною був Ростислав Сергійович Фурдуй, який 43 роки життя присвятив геологічному факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Після закінчення з відзнакою Університету, він 13 років працював на виробництві, де захистив кандидатську дисертацію. У 1969 році повернувся до рідної alma mater. Тут Ростислав Сергійович 11 років займався науковою роботою, 22 роки – викладацькою діяльністю, а останні 10 років присвятив Геологічному музею. Серед його наукових інтересів були палеонтолого-стратиграфічні та тектонічні дослідження. Одночасно він займався вивченням таємниць давнього світу, аномальних явищ нашої планети, палеоконтактами та НЛО. Р.С. Фурдуй поповнив музей цікавими експонатами та стендовою інформацією, зробив підсвічування зразків, створив вітрини про історію геології в Університеті та геологічній емблемі. Досвідчений геолог і викладач, і, крім того, обдарований лектор, він проводив захоплюючі екскурсії по музею. Завдяки науковому та літературному талантам Ростислава Сергійовича, ми маємо можливість читати його підручники та чудові науково-популярні книги з різних галузей знань. Слуха-

чам різного віку та різноманітних аудиторій надовго запам'яталися його лекції та виступи у Будинку вчених та на телебаченні, в гуртожитках та школах.

Р.С. Фурдуй був фахівцем широко профілю: геологом, палеонтологом, тектоністом та дослідником аномальних явищ. Він став автором та співавтором близько 150 наукових та науково-популярних праць, у тому числі кількох монографій та багатьох підручників. А головне, Ростислав Сергійович Фурдуй був справжнім ентузіастом геологічної справи!

Дитинство та юність. Народився Ростислав Сергійович Фурдуй в с. Семенівка, що розташоване на березі р. Південний Буг у Арбузинському районі Миколаївської області, в сім'ї сільських учителів 28 липня важкого для України 1933 року. Батьки Ростислава – Сергій Іванович і Євфімія Семенівна, після закінчення Одеського педагогічного технікуму, поїхали за розподілом працювати до села. [1]. Батько мав хист до різьблення по дереву, який успадкував і син.

У дитинстві Ростислав, як і більшість дітей, збирав різні цікаві речі: трофейні знахідки, монети і камінці [10]. Серед найцінніших були пірит величиною з дитячий кулачок, чарнокіти та кварц. Найбільше цікавих знахідок було біля річки Ташлик, яка вилася серед скелястих берегів. Як Ростислав з'ясував пізніше, ці скелі були складені найдавнішими породами – чарнокітами, що мали вік приблизно 3 мільярди років. Назвали їх на честь індійського царя Чарноки – засновника міста Калькутта, отже, ташлицькі чарнокіти мали родичів у далекій Індії. Пізніше Ростислав Сергійович здійснить свою дитячу мрію й відвідає цю екзотичну країну.

У 1946 р., коли Ростислав був учнем 4-го класу, відбулася його перша зустріч з геологами із Києва. Він показав їм свою колекцію й обміняв улюблений великий зразок піриту на моріон. Геологи, які побачили зацікавленість хлопця, запропонували йому в майбутньому вчитися на геолога, щоб пізнавати нашу Землю, шукати її багатства й відкривати її таємниці. Ця зустріч стала доленосною. Після закінчення із золотою медаллю Вільшанської середньої школи, 1951 року Ростислав Фурдуй вступає до Київського Державного університету ім. Т.Г. Шевченка на геологічний факультет. Спочатку він навчається у групі геофізиків, але, через складності з математикою, переводиться до групи геологів. У цей час група студентів-першокурсників, що жили в гуртожитку на вул. Освіти, створює неформальне товариство "Вавилон".

Під час навчання Р.С. Фурдую пощастило спілкуватися з такими корифеями геології, як М.М. Ключников, О.Л. Ейнон, Б.О. Гаврусевич та ін. Такі особистості, безумовно, вплинули на характер і світогляд студента. Велике значення для закріплення теоретичного матеріалу мали практики на Донбасі, Алтаї, Тянь-Шані, у Каневі та Криму.

В університетській бібліотеці Ростислав Сергійович зустрівся зі студенткою філологічного факультету Марією. Він згадував, що "попав до неї у полон" і, згодом, запропонував стати його дружиною. У 1956 р. Р.С. Фурдуй закінчив з відзнакою геологічний факультет і здобув професію інженера-геолога за спеціальністю – геологічна зйомка і пошуки корисних копалин.



Р.С. Фурдуй – випускник 1956 р.

Золота медаль і диплом з відзнакою, безсумнівно, свідчать про виняткові здібності Ростислава Сергійовича, які пізніше проявилися у його історичних нарисах,

науково-популярних і навчальних книжках, а також у викладацькій та науковій діяльності.

Геологічні експедиції. Після закінчення університету Ростислав Фурдуй був рекомендований до аспірантури, але з товаришами-одногрупниками поїхав працювати в Магаданську область (Північно-Східне геологічне управління) у загадковий "Дальстрой". Туди помандрувало веселе товариство "Вавилон": Анатолій Радзівілл, Віктор Радзівілл, Антон Афіцький, Анатолій Носад, Анатолій Житецький та Іван Мігович [5]. На Крайній Півночі Р.С. Фурдуй працював техніком-геологом, геологом (1956–1958 рр.), начальником знімальної партії (1958–1964 рр.), старшим геологом і начальником знімального відділу експедиції (1964–1969 рр.) [1]. Закривав останні "білі плями" на геологічних картах СРСР та Приколим'я, брав участь у пошуках золота. Загалом, Ростислав Сергійович пропрацював на Крайньому північному сході СРСР 13 років: Колима, Чукотка, Якутія. На Колімі була з ним його вірна дружина – Марія Іванівна. Вона працювала учителем середньої школи, а згодом – директором школи робітничої молоді в смт. Сеймчан. Тут у родині Фурдуй народилася перша донька – Наталя. Ростислав Сергійович любив виходити на природу з сім'єю та колегами, був душею компанії та чудово готував шашлики.

1956 року, у Магаданській області Фурдуй познайомився з художником-графіком Іваном Омеляновичем Гриценком (1906-1976 рр.), який створив цілу серію чудових гравюр з життя на Крайній Півночі [7]. Цей український художник у 1938 році був репресований за акварельний малюнок мосту через Дніпро: слідчий вважав, що то була схема підготовки диверсійного акту. У спілкуванні з Іваном Омеляновичем Ростислав Сергійович відчув усю несправедливість ставлення тоталітарної системи до творчої особистості. Пізніше Р.С. Фурдуй дбайливо зберігав та поширював творчий спадок цього митця.

Участь у численних експедиціях принесла неоціненний практичний геологічний досвід і скарбницю історій із життя геологів і мешканців Крайньої Півночі.



У маршруті на Колімі

Наукова діяльність. Незважаючи на активну роботу в полі, Ростислав Сергійович у 1968 р. закінчив заочно аспірантуру та захистив кандидатську дисертацію "Рифей і венд серединних масивів Північного сходу СРСР (стратиграфія і строматоліти)" [9]. Строматоліти – це вапнякові або доломітові рештки ціанобактеріальних співтовариств, які утворилися на дні водойм. Протягом усього архею і протерозою, вони були найбільш розповсюдженими породами біогенного походження, і, таким чином, є одним з найдавніших свідчень існування та поширення життя на Землі. Можливо, ця тематика сприяла подальшому захопленню Р.С. Фурдудя загадковими явищами нашої планети.

1969 року Ростислав Сергійович повернувся на геологічний факультет Київського Державного університету. З 1969 до 1978 рр. він працював начальником експедиції Науково-дослідного сектору Університету і займався палеонтолого-стратиграфічними дослідженнями карбону Башкирії. Палеонтологічні зразки, які він привозив з експедицій, поповнили експозицію Геологічного музею. Далі була наукова тематика пов'язана з дешифруванням космознімків Українського щита з метою встановлення закономірностей формування деяких тектонічних структур (Приазов'я, Середнє Придніпров'я), зокрема, лінеаментів і кільцевих структур. У співавторстві з В.Д. Омельченком (Інститут геофізики НАН України), А.А. Дроздовським (Інститут геологічних наук НАН України) та іншими науковцями, проводив дослідження та виявив вплив геоенергетичних аномалій на екологію м. Києва [3]. З 1978 р. Ростислав Сергійович займається викладацькою діяльністю, а 2000 року знов повертається до Науково-дослідної частини Київського університету на посаду старшого наукового співробітника.

Підсумком наукової роботи Ростислава Фурдудя стали численні (понад 100) наукові публікації, в тому числі декілька монографій. Володіння німецькою та англійською мовами давало можливість перекладати статті та книги, вільно спілкуватися з іноземними науковцями, брати участь у багатьох міжнародних конгресах.

Викладач у Київському університеті. З 1978 року Р.С. Фурдудь – доцент на геологічному факультеті Київ-

ського Державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Він викладав нормативні курси зі структурної геології, геотектоніки, екології, а також предмети, пов'язані із застосуванням аеро- та космометодів при геологічній зйомці і пошуках корисних копалин. Ростислав Сергійович мав талант оратора, який став йому у нагоді під час викладацької діяльності. Він відчував аудиторію, міг розсмішити студентську компанію несподіваним жартом або цікавою історією з власного досвіду роботи в експедиціях. Слухачі лекцій Р.С. Фурдудя назавжди запам'ятали його змістовне викладення матеріалу, дотепні історії, яскраві слайди. Основні посади навчального періоду: доцент (1978-1980 рр.), старший викладач кафедри регіональної геології і палеонтології (1980-1989 рр.) та доцент кафедри геології родовищ корисних копалин (1989-2000 рр.).

Р.С. Фурдудь постійно підтримував дружні стосунки зі своїми колегами з Всеукраїнського геологічного об'єднання "Спілка геологів України" та групи компаній Надра, зокрема, з її керівником Павлом Олексійовичем Загороднюком, з директором Інституту імені Павла Тутковського Ганною Анатоліївною Лівенцевою. Навколо Ростислава Сергійовича об'єднувалися справжні ентузіасти геологічної справи Університету: доцент Володимир Петрович Гриценко, професор Віктор Володимирович Огарь та інші співробітники факультету. Ці люди багато зробили для розвитку Геологічного музею та пропагування геологічної професії [2]. І Ростислав Сергійович віддачував їм своєю щирою дружбою та своїм літературним талантом.

У співавторстві з Г.О. Білявським і М.М. Падуним у 1993 р. було створено перший україномовний підручник для вищих навчальних закладів "Основи загальної екології", а пізніше – підручник "Основи екологічних знань" для шкіл (1995 р.). Обидві ці книги було перевидано (у 1995 та 2000 рр. відповідно).

Викладацька робота у Київському університеті сприяла вдосконаленню ораторських здібностей Ростислава Сергійовича, реалізації його наукового потенціалу, зблизила з однодумцями та надала можливість долучитися до різних наукових товариств.



Лектор Р. С. Фурдудь у студентському гуртожитку Київського університету

Захоплення. Ростислав Сергійович був відомим популяризатором знань про загадкові явища природи та палеоконтакти з позаземними цивілізаціями, збирав

свідчення про НЛО. Був членом Комісії з вивчення аномальних явищ при Науково-технічному товаристві радіотехніки, електроніки і зв'язку ім. О.С. Попова у 1980-

ті роки. Став одним із співзасновників Українського науково-дослідного Центру вивчення аномалій "Зонд" у 2004 р. Ці дослідження лягли в основу його книг: "Загадки древности (белые пятна в истории цивилизации)" (1988 р.), "Прелесть тайны" (1992 р.), "Прелесть тайны – 2" (2001 р.), присвячених розшифровці та тлумаченню деяких загадкових історичних подій та археологічних об'єктів, біблійних оповідей та казок [8]. Ростислав Сергійович був членом Міжнародного товариства А.А.С. (Археологія. Астрономія. Пошуки.), Американського географічного товариства і Міжнародного товариства стародавньої астронавтики. Брав участь у Міжнародних конгресах товариства А.А.С. в Югославії, Німеччині та Швейцарії. Був обраний президентом індійської уфологічної Асоціації "Cosmic Atma". Завдяки вільному володінню кількома мовами, Ростислав Сергійович мав змогу спілкуватися з однодумцями з усього світу і був знаний за межами України. Як член Міжнародного товариства палеоастронавтики, він добре знав швейцарського уфолога Еріха фон Денікена і обмінювався з ним даними досліджень. Саме завдяки Р.С. Фурдую були вперше перекладено з польської, угорської, болгарської, англійської, німецької та інших мов численні матеріали про проблеми вивчення аномальних явищ. Значну частину власного архіву він заздалегідь передав до сховища УНДЦА "Зонд". Ця спадщина Ростислава Сергійовича ще чекає на своє опрацювання й осмислення.

Р.С. Фурдуй писав цікаві історії з геологічного життя, як з власного досвіду, так і за спогадами колег. У 1999 р. разом з Олегом Володимировичем Зінченком був написаний окремий розділ "З любов'ю до матінки-землі" до книги "Нариси з історії геологічних досліджень у Київському університеті" [3]. На сторінках журналу "Геолог України" часто друкували його теплі, часто гумористичні, оповідання й новели про геологічне життя. Ростислав Сергійович належав до геологів тієї формації, яка крім розв'язання суто геологічних і виробничих завдань, їхала в поле ще й "за туманом". Він знаходив в професії геолога романтику далеких мандрівок, пісень біля вог-

нища, долання труднощів польового життя, спілкування з природою та ще багато того, що, на жаль, зникає з цієї професії в наш час.

Видана 2011 року книга Ростислава Сергійовича "Сонця і вітру брат" – сердечний прояв любові до геології [10]. Ця збірка реальних історій, спрямована здебільшого на молодіжну аудиторію, знайомить юнацтво з цікавою і важливою професією – геолог, розказує про польове життя й складну працю з теплим гумором і щирою любов'ю. Ця книга повністю виконує своє призначення – сприяти професійній орієнтації випускників шкіл.

Ростислав Сергійович був багатогранною людиною. Він чудово вирізав із дерева, малював, захоплювався фотографією, складав віршовані поздоровлення рідним і колегам. Він, як людина із "золотими руками", цінував і залучав до роботи в музеї майстровитих людей: Івана Омеляновича Гриценка – за геніальні гравюри і малюнки, Володимира Олександровича Александрова – за вміння виготовляти значки та медалі, Андрія Володимировича Шостака – за чудові малюнки і гумор, Бориса Миколайовича Мандрика – за конструювання кораблів, фотографування та інших, хто мав змогу та бажання допомагати своїми вміннями та матеріалами.

За радянських часів Р.С. Фурдуй, як геолог, побачив багато цікавих місць колишнього СРСР, возив студентів геологічного факультету на стажування до Чехословаччини. Пізніше з'їздив до країни, що дала назву чарнокітам – Індії, а у останній рік життя відвідав Францію та Королівство Монако.

Зрозуміло, що маючи такі інтереси, Ростислав Фурдуй захоплювався науковою фантастикою. Його улюбленим автором був Рей Бредбері. З поезії любив і цитував вірші Олександра Пушкіна. Вільно володіючи кількома іноземними мовами, він робив віршовані переклади зарубіжних творів. З музичних уподобань Ростислава Сергійовича можна виділити музику французької групи "Space".



Вироби Р.С. Фурдую: випускний знак, Сонце-Ярило та карстова печера

Робота у Геологічному музеї. Останні роки Ростислава Сергійовича Фурдую пройшли в Геологічному музеї Київського національного університету, де він з 2002 р. по 2012 р. працював інженером. Він упорядковував колекції, доповнював експозиції, працював зі зразками, займався оформленням інтер'єру, і за декілька років устиг виконати великий обсяг роботи для покращання сприйняття та інформативності експозиційних матеріалів. Р.С. Фурдуй проводив дуже цікаві й змістовні екскурсії та лекції для відвідувачів різного віку українською, російською та англійською мовами. Завдя-

ки його творчій праці музей отримав "друге дихання" і став візитівкою геологічного факультету.

У музеї завжди знаходилась різноманітна робота. Ростислав Сергійович особисто зробив освітлення зразків, оформив куточок про Всесвіт, виготовив меморіальну дошку з портретами видатних особистостей геологічного факультету "Mente et malleo" (2002 р.) та стенди "Коштовне каміння і вироби з нього", "Геологічний музей", "Сонця і вітру брат (геологи очима художників)" (2004 р.), облаштував і зібрав вітрини "Історія геологічного факультету" та "Історія музею". Щоб поповнити

експозицію музею, приносив власні експонати. Завдяки роботі Ростислава Сергійовича у музеї збережено пам'ять про цікавих людей, їхні здобутки та особисті речі. Його вітрини про Всесвіт, історію, досягнення, емблеми та подарунки геологічному факультету завжди викликають зацікавленість відвідувачів. І, зрештою, саме вони зберігають його творчий дух та пам'ять про енергійного геолога-романтика.

Р.С. Фурдуй сприяв облаштуванню геологічного факультету. Він допоміг зробити стенд "Геологія нафти і газу" (2011 р.) для однієї з кафедр. Прикрасив зображеннями зі слайдів власної колекції та репродукціями гравюр Івана Гриценка конференційну залу факультету. В творчій співпраці з П.І. Грищуком було створено стенди "Видатний геолог України – В.Г. Бондарчук (100 років з Дня народження)" (2005 р.), "Захисники Вітчизни. Геологи Університету на фронтах II Світової війни" (2007 р.), "О.Л. Ейнор – видатний палеонтолог і стратиграф (100 років з Дня народження)" (2008 р.) [2].

Автори були особисто знайомі з Ростиславом Сергійовичем. Інженер музею О.М. Вакулєнко співпрацювала з ним впродовж 33 років. П.І. Грищуку та О.О. Козіоновій пощастило познайомитися з Р.С. Фурдуєм як з талановитим викладачем, а пізніше

працювати з ним на одному факультеті. Спілкуватися з Ростиславом Сергійовичем було справжнім задоволенням. Як людина з великим досвідом, він мав величезний багаж знань, розповідав цікаві історії з життя та наукових досліджень. Мав гарний смак і руки майстра, виконував свою роботу швидко та якісно.

На запитання, чому не захистив докторську дисертацію, Ростислав Сергійович відповідав, що це йому не цікаво – у світі є багато більш захоплюючих речей. Мабуть не дарма для куточка про Всесвіт він взяв слова німецького філософа Іммануїла Канта, що стали епіграфом до цієї статті.

У Геологічному музеї повною мірою розкрилися таланти Ростислава Сергійовича. Останні роки були дуже плідними, ніби він кудись поспішав. У цей період він оформлює стенди "Хордові: птахи" та "Хордові: плазуни і динозаври", додає над вітринами додаткову навчально-пізнавальну інформацію. Разом зі співавторами в останній рік життя готує книги "Геологія в емблемах" та "Песни у костра" (2012 р.). Перша містить понад 500 геологічних емблем та зображень, у другій зібрано близько 200 пісень, уподобаних геологами. До збірки увійшли гравюри Івана Гриценка та малюнки Євгенія Хайкіна.



Улюблений куточок про Всесвіт Ростислава Фурдуя

Часто біля скелету мамонта у музеї записувалися телепередачі, в яких Р.С. Фурдуй розповідав про аномальні явища, приховані можливості людини та її контакти з позаземним розумом. Цікава та невтомна робота дарувала йому сенс життя, радість і задоволення. Було ще багато планів і задумок, але цьому, на жаль, не судилося здійснитися... Він відійшов у інший світ у рідних стінах геологічного факультету 2 липня 2012 р. Ростислав Сергійович прожив 79 років, так само як Іммануїл Кант, і не дожив до свого 80-річчя 23 дні [4].

Невтомна дослідниця та творча діяльність Ростислава Сергійовича не залишилася поза увагою громадськості ще за його життя. Від Співки геологів України він був нагороджений "Іменним геологічним молотком" (2004 р.) та "Срібним і золотим нагрудними знаками". Компанія Nadra group відзначила його "Золотим знаком" і медаллю "За заслуги до 20 річчя Nadra group" (2011 р.).

На честь українського палеонтолога, тектоніста й уфолога Ростислава Фурдуя у 2012 р. було створено

геологічний клас-лабораторію у школі № 256 м. Києва, що стало можливим завдяки ініціативі геологів Інституту Тутковського. На шкільному подвір'ї встановили величезну гранітну брилу – так у світі прийнято позначати геологічні заклади. У класі-лабораторії створено куточок Ростислава Сергійовича: його книги, художні вироби з дерева, особисті речі. Лабораторія створена в рамках експериментальної програми "Надра земні, надра духовні" з вивчення геології в загальноосвітніх школах з ініціативи та за активної участі Ганни Анатоліївни Лівенцевої. Навчальний курс з геології для школярів розробили фахівці з Інституту Тутковського, лекції читали доценти Університету Марина Дмитрівна Крочак і Олександр Васильович Омельчук.

Розповідаючи про Ростислава Сергійовича не можна не згадати його кохану дружину – Марію Іванівну Фурдуй. Вони прожили в щасливому шлюбі майже 55 років і мали двох доньок та чотирьох онуків [7]. Марія Іванівна присвятила своєму чоловікові дві книги – "Мій

геолог (одна любов на все життя...) та "Геолог (Про автора книги "Сонця і вітру брат")" [5, 6]. Вона яскраво описала життєвий шлях з талановитою людиною, справжнім романтиком і дослідником, і, водночас, ніжним і люблячим чоловіком. Не можна не згадати про те, як Ростислав Сергійович комфортно облаштував свій дім та дачу, які прикрашали вирізьблені з дерева казкові герої і тварини. Про те, яким він був гарним сім'янином і господарем, як любив дружину і дітей. Про те, з

якою теплою згадують дідуся його улюблені онуки. Старший онук Денис пішов стопами дідуся і став геологом-геохіміком. Дружня сім'я була для Ростислава Сергійовича "надійним тилом", де він завжди знаходив підтримку у всіх своїх наукових і творчих задумах.

Завдяки різноманітним талантам та інтересам, Р.С. Фурдуй лишив майбутнім геологам та дослідникам багату геологічну, екологічну, літературну, уфологічну та музейну спадщину.



Лекція Р.С. Фурдуя для школярів у першому залі Геологічного музею

Висновки. В біографії Р.С. Фурдуя можна виділити кілька етапів, що характеризують освітній (1941-1956 рр.), виробничий (1956-1969 рр.), науковий (1969-1978 рр., 2000-2002 рр.), викладацький (1978-2000 рр.) та музейний (2002-2012 рр.) періоди його життєвого шляху. Дуже важко охопити всю різноманітну наукову та творчу діяльність цієї унікальної людини. Автори намагалися висвітлити основні розробки та напрямки наукових досліджень Ростислава Сергійовича, описати його вагомий внесок у музейну й освітнянську справу, розповісти про його таланти та захоплення.

Ростислав Сергійович Фурдуй (1933-2012 рр.) залишив яскравий слід як невтомний дослідник, талановитий лектор та письменник, як людина з широким колом інтересів та уподобань. У пам'яті колег і студентів, друзів і родини він назавжди залишиться справжнім ентузіастом своєї справи: геологом-дослідником, геологом-романтиком...

Список використаних джерел

1. Архів КНУ імені Тараса Шевченка. Особова справа: Фурдуй Р. С. – Ув 2000, 172-ппс. 2000. – 100 с.
2. Геологія в Київському університеті / С. А. Вижва, П. І. Гришук, О. В. Зінченко, та ін.; за ред. проф. В. І. Павлишина – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 479 с.
3. Нариси з історії геологічних досліджень у Київському університеті / Під ред. проф. В. Г. Молявка, доц. О. В. Зінченка. – К., 1999. – 287 с.
4. Пам'яті Ростислава Сергійовича Фурдуя // Геолог України. – 2012. – № 3. – С. 151-154.
5. Фурдуй М. І. Геолог (про автора книги "Сонця і вітру брат") / М. І. Фурдуй. – К.: Логос, 2015. – 40 с.
6. Фурдуй М. І. Мій геолог ("одна любов на все життя...") / М. І. Фурдуй – К.: Логос, 2014. – 300 с.

7. Фурдуй Р. Любисток під снігом / Р. Фурдуй // Геолог України. – 2004 – № 3 – С. 76 – 81.
8. Фурдуй Р. С. Прелесті тайни-2 / Р. С. Фурдуй. – К.: "Либідь", 2001. – 472 с.
9. Фурдуй Р. С. Рифей и венд срединных массивов Северо-Востока СССР (стратиграфия и строматолиты): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Магадан, 1968. – 22 с.
10. Фурдуй Р. Сонця і вітру брат (популярно про геологів і геологію) / Р. Фурдуй – К.: Радуга, 2011. – 224 с.

References

1. Archive of Taras Shevchenko National University of Kyiv (2000). Personal file: Furduey R. S. Uv 2000. Spr. File No. 172-pps, 100 p. [in Ukrainian].
2. Vyzhva S. A., Gryshchuk P. I., Zinchenko A. V. et al. (2011). Geology at the University of Kyiv. Ed. prof. V. I. Pavlyshyn. Kyiv publishing center "Kyiv University". 479 p. [in Ukrainian].
3. Essays from the history of geological studies in Kyiv University (1999). Ed. prof. V. G. Molyavko, Assoc. prof. O. Zinchenko. K., 287 p. [in Ukrainian].
4. Memory about Rostislav Sergiyovych Furduey (2012). Geologist of the Ukraine, 3, 151-154. [in Ukrainian].
5. Furduey M. I. (2015). Geologist (About author of "Brother to sun and wind"). K.: Logos, 40 p. [in Ukrainian].
6. Furduey M. I. (2014). My Geologist ("one love of while life ..."). K.: Logos, 300 p. [in Ukrainian].
7. Furduey R. (2004). Lovage under the snow. Ukrainian Geologist, 3, 76 – 81 [in Ukrainian].
8. Furduey R. S. (2001). Attraction of secret-2. K.: "Lybid", 472 p. [in Russian].
9. Furduey R. S. (1968). Riphean and Vendian median massifs of the North-East of the USSR (stratigraphy and stromatolites). Author. diss. ... of Cand. geol.-min. sciences. Magadan, 22 p. [in Russian].
10. Rostislav Furduey (2011). Brother to sun and wind (popular about geologists and geology). K.: Raduga, 224 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 06.01.16

P. Gryshchuk, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: pavel@univ.kiev.ua;
O. Vakulenko, engineer;
O. Kozionova, engineer
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

ROSTYSLAV SERGIYOVYCH FURDUY – ENTHUSIAST OF THE GEOLOGICAL WORK

The article discusses production, scientific, educational and museum activities of the Cand. Sci. (Geol.-Min.) Rostislav Sergeevich Furduy, most of which are closely related to the geological faculty of the University of Kiev. The authors are used both their personal relation experience as well as materials about R.S. Furduy that describe his life activities in various areas his personal preferences and hobbies. The article describes educational, scientific and creative nature of Rostislav Furduy including unique improvements made by him for Geological Museum during 2002-2012 years. Main stages of R.S. Furduy's life as well as use full educational and scientific contribution share as made by such an outstanding person during his work at the geological faculty of the Taras Shevchenko National University of Kyiv are analyzed.

Keywords: Rostyslav Sergiyovych Furduy, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geology, Geological Museum, geologist, stromatolites, paleontologist, ufologist, museum development.

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.
E-mail: pavel@univ.kiev.ua;
О. Вакуленко, инж.;
О. Козионова, ведущий инж. НИЧ
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"
ул. Васильковская 90, г. Киев, 03022, Украина

РОСТИСЛАВ СЕРГЕЕВИЧ ФУРДУЙ – ЭНТУЗИАСТ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЛА

В статье освещены производственная, научная, преподавательская и музейная деятельность кандидата геолого-минералогических наук Ростислава Сергеевича Фурдуй, большая часть которой была связана с геологическим факультетом Киевского университета. Авторы использовали собственные впечатления и многочисленные материалы о Р.С. Фурдуйе, характеризующие его плодотворную производственную, педагогическую и научную жизнь, личные предпочтения и увлечения. В статье описана учебно-научная и творческая деятельность Ростислава Фурдуй, в том числе, уникальные разработки в Геологическом музее, выполненные этим специалистом в течение 2002-2012 гг. Выделены основные этапы жизненного пути этого замечательного человека, проанализирован его вклад в учебно-познавательный процесс на геологическом факультете Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Ключевые слова: Ростислав Сергеевич Фурдуй, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, геологический факультет, Геологический музей, геолог, строматолиты, палеонтолог, уфолог, музейные разработки.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(73)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування О.О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 9,1. Наклад 300. Зам. № 216-7966.
Вид. № Гл2. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.
Підписано до друку 27.06.16

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
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02